



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola Superior d'Enginyeries Industrial,
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa

Titulació: Grau en Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica

Alumne: Cristina Pérez Taulés

Enunciat TFG: Estudi i implementació de sistemes de telemetria en cotxes de ral·li

Director del TFG: Néstor Berbel Artal

Codirector del TFG: Juan José Alins

Convocatòria de lliurament del TFG: 10 de Gener del 2019

ÍNDEX I

1. ABTRACTE DE LA INTRODUCCIÓ / INTRODUCTION ABSTRACT	1
2. INTRODUCCIÓ	3
3. ESTAT DE L'ART EN COMPETICIONS I RAL·LIS	7
3.1 COMPETICIONS DE RAL·LIS:	7
3.2 NORMATIVA DELS RAL·LIS:	13
3.3 TELEMETRIA:	18
3.4 TELEMETRIA EN COMPETICIONS AUTOMOBILÍSTIQUES:	20
3.5 SISTEMES DE LOCALITZACIÓ I CRONOMETRATGE:	27
3.5.1 SISTEMES D'IDENTIFICACIÓ PER RADIOFREQUÈNCIA: RFID I TRANSPONEDOR:	28
3.5.2 BLUETOOTH:	31
3.5.3 WIFI	33
3.5.4 LORA WAN:	34
3.5.5 SISTEMES DE GEOLOCALITZACIÓ: GPS I SISTEMES GNSS:	35
3.5.6 GEOLOCALITZACIÓ PER TELEFONIA MÒBIL:	41
3.6 ESTUDI DE MERCAT: EMPRESES I SISTEMES DE TELEMETRIA:	42
4. SISTEMES DE TELEMETRIA POSSIBLES I PROPOSTA A IMPLEMENTAR	45
5. ESTAT DE L'ART DEL SISTEMA DE TELEMETRIA ESCOLLIT	49
6. PRESSUPOST	59
7. CONCLUSIONS	61
8. POSSIBLES MILLORES AL SISTEMA IMPLEMENTAT I PROPOSTA DE FUTUR TREBALL	65
9. BIBLIOGRAFIA	67

ÍNDEX II

Figura 1: Cronòmetre utilitzat en les competicions de Ral·lis.....	10
Figura 2: Cèl·lula fotovoltaica utilitzada en les competicions de Ral·lis.....	10
Figura 3: Control d' <i>stop</i>	10
Figura 4: Cotxe de Ral·lis.....	17
Figura 5: ECU McLaren tancada.....	22
Figura 6: ECU McLaren oberta.....	22
Figura 7: Cotxe de Fòrmula 1 amb antena.....	23
Figura 8: Antena de cotxe de Fòrmula 1.....	23
Figura 9: Transponedor.....	26
Figura 10: Xip RFID.....	28
Figura 11: Comunicació LoRa WAN.....	34
Figura 12: Representació dels satèl·lits.....	35
Figura 13: Mòdul GPS.....	36
Figura 14: Representació gràfica dels diferents satèl·lits.....	38
Figura 15: Mòdul GNSS.....	49
Figura 16: Arduino DUE.	49
Figura 17: Connexionat dels components.	50
Figura 18: Connexionat dels components amb el mòdul girat.....	50
Figura 19: Esquema del connexionat dels components.....	51
Figura 20: Software U-center.....	54
Figura 21: Dades experimentals amb ubicació del control 1.....	56
Figura 22: Dades experimentals amb ubicació del control 2.	56

1. ABTRACTE DE LA INTRODUCCIÓ / INTRODUCTION

ABSTRACT

El Treball de Fi de Grau que es presenta mostra la implementació d'un sistema d'adquisició de posicionament i cronometratge per a competicions de ral·lis. Per a la realització, es té en compte aquelles categories automobilístiques en les que es disposen de menys recursos econòmics i l'obtenció d'aquestes dades es fa de forma manual i/o poc eficient. Conjuntament es duu a terme un estudi de la normativa de la Federació Internacional d'Automobilisme i es mostra un estudi dels diferents sistemes de posicionament i cronometratge en altres competicions esportives i d'empreses que actualment estiguin donant el seu servei en aquest àmbit.

La finalitat del projecte és trobar una via en la que els vehicles puguin ser constantment rastrejats per atorgar la informació referent als temps i posició de cada pilot a l'organització del certamen. Es tindrà molt present la seguretat dels concursants en la realització del treball, degut a que es pretén reduir el nombre de punts en que no es coneix la posició del vehicle i que poden esdevenir poc segurs envers a possibles accidents.

Es presentaran diferents propostes de solució en aquest camp de la telemetria, per finalment implementar-ne una de forma pràctica i a petita escala escollida tenint en compte diferents factors com l'eficiència, el cost econòmic, la fiabilitat i la precisió entre altres.

INTRODUCTION ABSTRACT:

The Bachelor Degree Thesis presented shows the implementation of a positioning and timing acquisition system for rally competitions. For the realization, it is taken into account those automobile categories that have less economic resources and which the obtaining of these data is done manually and / or inefficiently. Together with this, a study of the regulations of the International Motoring Federation is carried out. Moreover, a study of the different positioning and timing systems in other sports competitions and of some companies that are currently serving in this field is exposed.

The purpose of the project is to find a way in which vehicles can be constantly traced to give information about the time and position of each pilot to the organization of the event. The security of the contestants will be present in the accomplishment of the work because it is tried to reduce the number of points in which the position of the vehicle is not known and can become unsafe towards possible accidents.

Different solution proposals will be presented in this field of telemetry to finally implement one in a practical and small-scale taking into account different factors such as efficiency, economic cost, reliability and accuracy among others.

2. INTRODUCCIÓ

La pràctica automobilística i la competició dins d'aquest àmbit ha requerit contínuament des dels seus inicis una millora del sistema d'adquisició i tractament de dades telemètriques. La tesi presentada mostra la intenció de millorar el sistema de posicionament i cronometratge en les competicions de ral·lis.

Actualment i d'acord a la normativa de la Federació Internacional d'Automobilisme existeixen quatre categories en les competicions de ral·lis: la categoria mundial, la internacional, la nacional i la regional. Depenent del pressupost de l'esdeveniment, es dediquen més o menys recursos en l'obtenció de dades relacionades amb la posició i el cronometratge dels vehicles. Normalment la única categoria que en disposa és la mundial i puntualment alguna d'internacional, on per mitjà de diferents dispositius, mòduls GPS i un sistema de comunicació complex aconseguixen obtenir totes les dades referents a la telemetria en aquest camp i tractar-les per a adquirir la ubicació del cotxe i els temps que està realitzant en la cursa. En les altres categories però, no es disposa de tots aquest recursos pel que són els propis comissaris o *marshalls* de la FIA que s'encarreguen de realitzar dites tasques manualment.

El treball de final de grau que s'exposa és original, és a dir, és una proposta meua i es recolza en les meves pròpies experiències en competicions de ral·lis des de l'any 2015 quan vaig començar a formar part d'aquesta institució. Les competències en les que vaig formar part eren de caire nacional i regional pel que vaig poder comprovar com es duia a terme manualment la telemetria en l'àmbit de la localització i el cronometratge.

El mètode pel qual s'obté tota aquesta informació és senzill i poc precís. La posició del cotxe en el traçat i els temps realitzats només s'obtenen en els punts de sortida i d'arribada, on per mitjà de cèl·lules fotovoltaïques i de sistemes infrarojos s'adquireix la ubicació del cotxe i el temps que ha realitzat calculant la diferència dels temps que es determinen en

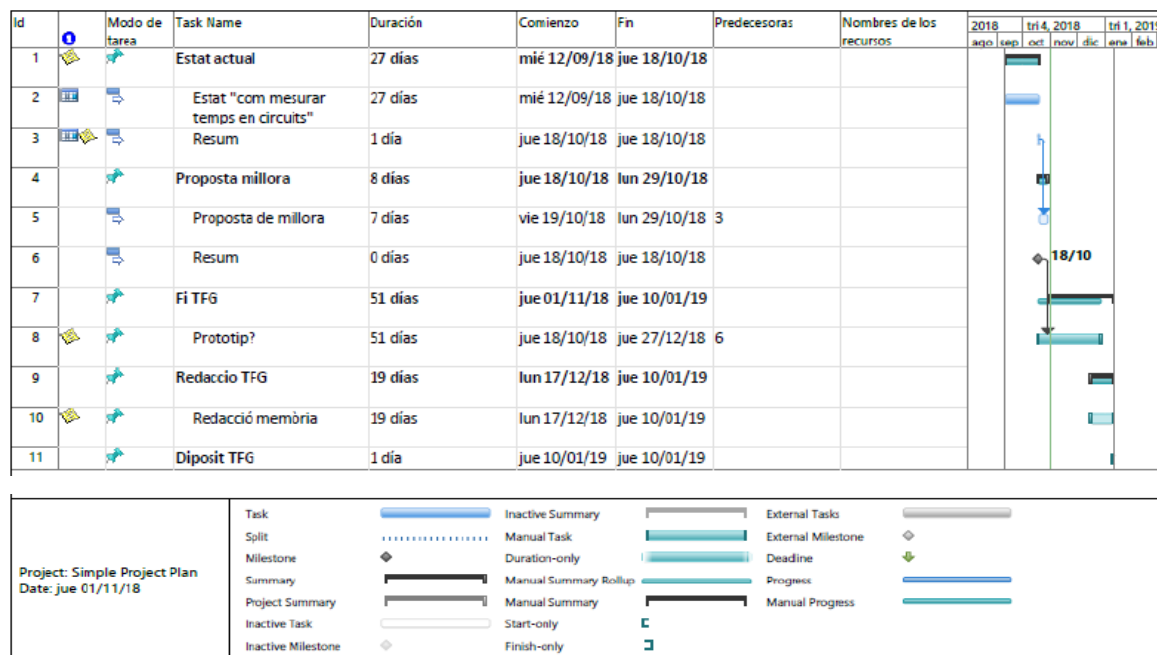
aquests dos esmentats punts. A més, al llarg de cada tram s'hi ubiquen diferents controls amb comissaris en cada un per portar un seguiment del vehicle manualment ja que si s'escau se'ls hi pot demanar corroborar si un determinat dorsal ha passat per aquell control. En aquests llocs només es registra si el cotxe ha passat però no pas l'hora en que ho ha fet pel que fa que el sistema de posicionament i cronometratge no sigui rigorós ni tant fiable com hauria de ser.

Com s'ha esmentat, en ral·lis amb més pressupost també s'afegeixen transpondedors i mòduls GPS que milloren i complementen aquests sistemes telemètrics. Gràcies a això es pot portar un rastreig del vehicle en el traçat i conèixer els temps que està realitzant. Tot i així aquestes competicions representen un percentatge molt baix de totes les curses de ral·lis que es realitzen cada any deixant en totes les altres una mancança d'aquest procediment que permet establir una traçabilitat del dorsal. Es pretén trobar una via en la que els vehicles puguin ser constantment rastrejats per motius de seguretat ja que hi ha punts cecs que no es controlen i que poden esdevenir a crítics. És per aquest motiu doncs, que la finalitat d'aquest treball és estudiar i proporcionar un cronometratge més acurat que el present.

Es realitzarà un estudi de diferents sistemes d'assoliment de dades en relació amb el posicionament i el cronometratge dels vehicles en diferents competències. Posteriorment a aquest estudi, s'exposarà una única proposta d'implementació d'acord a varis factors qualitatius per optimitzar els recursos electrònics, econòmics i humans, i obtenir un resultat més eficient, efectiu i precís en l'adquisició de la informació exigida. Finalment, es pretendrà portar a terme a petita escala dit plantejament per exhibir el seu correcte funcionament i corroborar que el desenvolupament del treball i la via escollida són viables i conclouen de la forma esperada.

La realització de la tasca es durà a terme conforme a la cerca i anàlisi d'informació per diversos medis de divulgació com són llibres de text, llibres tècnics, material audiovisual, portals web, etcètera. A més, s'efectuarà en virtut dels meus propis coneixements obtinguts en competicions automobilístiques en circuits i autòdroms des del 2015 com a Marshall per a la Federació Internacional d'Automobilisme.

L'efectuació del treball de fi de grau, a part de complir amb els requisits esmentats, es farà en relació a diverses labors que es desenvoluparan en ordre cronològic. Això és degut a que moltes d'elles són dependents les unes de les altres, i queden representades en el següent diagrama de Gantt. Cal però, també tenir en compte la limitació del temps i dels recursos disposats ja que poden ser factors problemàtics en la tasca.



Com es pot apreciar, el primer pas a fer és l'estudi del projecte. Es realitzaran diferents comeses les quals inclouen un estudi de les competicions automobilístiques per veure quins sistemes d'adquisició i quins sensors hi són aplicats, i un estudi que quins existeixen fora d'aquest concepte per si també els podem emprar. A més, es realitzarà un estudi de mercat per comprovar quines empreses ofereixen serveix en competicions automobilístiques i com realitzen el cronometratge i obtenen posicionament del vehicle. Tot això permetrà veure el ventall de sistemes que es poden emprar per a dita finalitat i poder buscar-ne un altre de diferent per a complementar els existents que permeti millorar-los. A part, es complirà amb la lectura de la normativa de les competicions de ral·lis publicada per la FIA per tal de respectar el reglament i s'informarà de com es realitzen les competicions de ral·lis.

Tot seguit es faran diferents propostes de millora tenint en compte els criteris anomenats anteriorment, eficiència, efectivitat i precisió, i s'escollirà la més adient. S'implementarà el prototip escollit, i finalment es conclourà amb la redacció de la memòria.

3. ESTAT DE L'ART EN COMPETICIONS I RAL·LIS

3.1 COMPETICIONS DE RAL·LIS:

La presentació de les competicions automobilístiques en el campionat de Ral·lis és la primera instància per poder ambientar el treball de final de grau. Des de l'exposició de les diferents categories vigents, mundials, internacionals, nacionals i regionals, es detalla la normativa vigent, la documentació reglamentària de la competició, els tipus de trams, com es duu a terme la competició i quines regles s'han de complimentar, què són i per a què serveixen els controls, entre altres. Tot i així però, el punt més important en aquest apartat és el cronometratge degut a que és el que regeix el projecte. És per això que s'hi posarà accent en els aparells que permeten aquesta la gestió, quins controls hi actuen, i com facilita la federació el coneixement dels temps i la posició dels vehicles.

Els Ral·lis són competicions automobilístiques que es disputen en carreteres obertes al trànsit que tanquen amb la finalitat de realitzar dita competència. Es poden dur a terme en diferents superfícies, com per exemple asfalt, terra, neu o fins i tot n'existeixen de mixtes, on en un mateix circuit s'hi troben mesclades varies. Les carreteres són dividides per trams, i per a guanyar la competència cada participant els ha de recórrer en el menor temps possible, fent així que la suma dels temps de cada tram sigui inferior que la dels contrincants [1]. Hi ha diferents variants de trams i es distingeixen de la resta per alguna peculiaritat, com per exemple en la llargària o amplada, en que hi poden competir dos vehicles al mateix temps, i fins i tot d'altres que serveixen per testejar les modificacions fetes al cotxe pels mecànics abans de la carrera. També existeixen categories de Ral·lis que en una mateixa competició es corre per trams de muntanya, camp i urbans com per ciutats i pobles [2].

Aquest esport es regeix per una normativa i reglamentació pròpia que la Federació Internacional de l'Automòbil o FIA estableix i la diferencien amb els altres campionats dins del món del motor. Quatre punts principals són els que distingeixen els ral·lis d'altres competicions. Es determina que s'han de disputar en vies públiques i tancades els dies de competició, i que els vehicles utilitzats han de ser aptes per aquestes carreteres. És a dir, han d'estar matriculats i equipats dels mateixos elements obligatoris que per a la resta de cotxes. Tot hi així modificacions com treure els seients per alleugerar el pes i posar barres per reforçar el xassís, entre d'altres, estan permeses. A part es dicta que en l'automòbil hi ha d'haver dues persones, un pilot i un copilot que duen a terme funcions diferents, i que la cursa es disputa en solitari. Cada vehicle surt del punt de sortida amb una diferència d'un minut amb els altres cotxes, i per tant no acostuma a creuar-s'hi a menys que hi hagi hagut algun incident com per exemple una averia o un accident.

Dins dels Ral·lis la normativa varia segons si es tracta del Campionat Mundial de Ral·lis, una prova internacional, una nacional o una regional. Tot i així, en el cas de la telemetria i de la transmissió de dades aquesta canvia poc, i serà explicada en el següent capítol número 3.2 anomenat «*Normativa dels Ral·lis*» [3].

Els equips de Ral·lis estan integrats per un pilot, un copilot i un o dos cotxes de competició. Cada cotxe té assignat un cap enginyer, un enginyer electrònic i un cap de mecànics que supervisa de cinc a set mecànics. En competicions oficials també hi poden haver enginyers especialistes que s'ocupen de determinades tasques, un expert en comunicacions i un enginyer informàtic. A part, en aquestes competicions també acompanyen a l'equip administratiu, personal de màrqueting, premsa i relacions públiques, cuiners, metges, conductors de camions i altres vehicles, fisioterapeutes, entre altres professionals. En competicions mundials un equip pot arribar a sumar unes seixanta persones [4].

En quant a la duració d'aquestes competicions, s'ha de dir que es desenvolupen generalment en diversos dies, i en cada jornada es recorren varis trams cronometrats on s'efectua la cursa. Les vies que uneixen aquestes seccions es denominen trams d'enllaç, i són carreteres obertes al públic en les quals s'hi ha de complir les normes de trànsit donat que s'hi circula amb vehicles convencionals.

Per a controlar el correcte desenvolupament de la competència, la federació dóna a cada equip, una per vehicle, la documentació reglamentària de la cursa. Aquesta consta d'un llibre de ruta on s'hi descriu tot el camí a seguir, i que és d'obligada complementació. En aquesta també s'hi detallen els trams cronometrats, trams d'enllaç, temps a realitzar, distàncies, etc. A més, se'ls hi lliura un carnet de ruta que ha de ser entregat en punts preestablerts denominats controls horaris, els quals serveixen per determinar l'hora d'arribada a l'inici del tram ja que servirà per determinar posteriorment el temps realitzat en aquest.

Segons la modalitat competitiva, els Ral·lis es poden compondre diversos trams. Per exemple, en el mundial n'hi sol haver entre quinze i vint-i-cinc, en proves internacionals n'hi ha menys de vint, i en proves nacionals no solen arribar als deu. La velocitat mitjana assolida en un tram cronometrat és de 110 km/h, i al menor temps realitzat en un se l'anomena *scratch*.

Cada tram està delimitat per quatre controls, dos a l'inici que són els de control horari d'arribada i de sortida, i dos en el final, anomenats de meta i control d'*stop* [5].

El primer control que es troben els competidors és el control d'arribada i és ubicat a l'inici de cada tram. En aquest, els participants han d'entregar als comissaris de la federació el carnet de ruta que els hi servirà per marcar l'hora d'arribada. Posteriorment hauran d'esperar entre un i dos minuts per avançar al control de sortida situat a dos-cents metres. El no compliment d'aquest temps penalitza afegint segons extra al temps de tram realitzat pel participant.

Seguidament hi ha el control de sortida. Aquest és el control previ al tram cronometrat i es situa a l'inici d'aquest. En el control de sortida, els participants han de detenir-se davant a unes cèl·lules fotovoltaïques connectades a un cronòmetre i a un rellotge amb l'hora oficial del ral·li. El dispositiu marca l'hora de sortida de cada vehicle de forma regressiva, i juntament amb un semàfor, transcorre un minut, i per tant quan l'instrument marqui zero, els vehicles per ordre de sortida poden arrancar per partir i incorporar-se al tram cronometrat amb finalitat de competir.



Figura 1: Cronòmetre utilitzat en les competicions de Ral·lis [6].

La meta és el punt final del tram, és a dir, l'arribada. En la meta se situa un altre cèl·lula fotovoltaica per registrar l'hora d'arribada del vehicle, que facilita el coneixement del temps que ha necessitat el participant per recórrer el tram. Un cop passada la meta, el vehicle ha d'avançar sense aturar-se fins al següent control, el control d'*stop*.



Figura 2: Cèl·lula fotovoltaica utilitzada en les competicions de Ral·lis [7].

El control d'*stop* doncs és l'últim control i és d'obligada assistència. En aquest els participants entreguen el carnet de ruta on es marcarà l'hora d'arribada al control i el temps realitzat en el tram.



Figura 3: Control d'*stop* [8].

A més d'aquests controls, al llarg dels trams s'hi ha d'altres de petits anomenats controls de pas, on s'hi troben entre dos i tres comissaris de la federació. En cada un s'hi porta manualment un seguiment dels vehicles que hi han passat i s'assegura que tots els cotxes que estiguin competint ho hagin fet en l'hora corresponent i respectant la reglamentació i la seguretat dels competidors. La comunicació dels comissaris amb la central de la competició s'efectua per mitjà de *walkie talkies*. Gràcies al mètode, es informa de qualsevol necessari durant la carrera i de qualsevol incident que pugui esdevenir.

A l'inici i al final de la competició i puntualment a la fi d'alguns trams cronometrats s'hi ubiquen parcs tancats. Un parc tancat és un recinte específic per a la verificació tècnica del cotxe. Els participants deuen estacionar els vehicles per a què la federació pugui realitzar un control de l'estat de l'automòbil assegurant que es troba en bones condicions per a competir i que es regeix a la normativa establerta.

El cronometratge és el punt més important de l'apartat pel projecte que s'està exposant, és per això que a part d'explicar a grans trets en què consisteix una competició de Ral·lis, es necessita mostrar com es duu a terme el cronometratge.

Per a comptabilitzar els temps dels competidors en els dites competicions s'usa un sistema de cronometratge i de punts anomenat controls horaris. Com s'ha explicat, en els controls principals o horaris es fa un seguiment del temps de cada vehicle, tant quan es troba competint com quan no. En tots els casos es pren de referència l'hora oficial del ral·li que està oficialitzada mitjançant l'hora atòmica mundial atorgada en aquest pretext per un GPS.

Cal remarcar que en els controls de pas només es porta un seguiment del cotxe, és a dir, s'anota si el vehicle ha passat o no per dit control, però no se'n extreu el temps de pas de forma oficial, i per tant no es considera per al cronometratge. Els únics controls en el que es porta un control de temps per a aquesta finalitat són els controls d'arribada i de sortida, la meta i el control d'*stop*, ja que el que es necessita és el temps total que ha necessitat el pilot per a recórrer el tram.

Els temps recollits a cada un dels quatre controls són enviats a un *software* que gestiona la competència i mostra els temps de cada automòbil, classificacions, i penalitzacions en el cas de que n'hi hagi.

En els campionats mundials els cotxes porten un GPS que permet conèixer el punt exacte on es troben i un *transponder* adherit a la carrosseria que permet ser detectat en els controls d'arribada, sortida i meta per a obtenir els temps. La utilització d'aquests aparells permet a l'organització saber a temps real la posició de cada dorsal, com també facilita als equips establir estratègies de tram atès que es fan públics els resultats que es van rebent. Les estratègies però s'han de fer quan el cotxe no està en el traçat competint, sinó han de ser establertes abans de la competició per determinar com es voldrà recórrer el tram, o bé després, estudiant traçats anteriors per a poder afrontar els següents.

Malgrat això, cal remarcar que aquests aparells només estan disponibles en competicions mundials i que tan sols es duu a terme un seguiment del temps en els quatre controls principals i no pas en els petits que es troben a llarg del trajecte. És per això que la finalitat del projecte és proporcionar a totes les competicions de Ral·lis un control de la posició dels vehicles en els trams cronometrats. Implementant un sistema de cronometratge i posicionament en aquests controls intermitjos es poden obtenir més dades de competició ja que s'estarien dividint els trams en seccions cronometrades, i a la vegada es podria millorar la seguretat dels competidors amb el fet de que hi hauria més punts automatitzats de controls de pas.

3.2 NORMATIVA DELS RAL·LIS:

Un dels punts principals del treball és la comprensió i aplicació de la normativa vigents dels Ral·lis. Cada competició en aquest àmbit recull un seguit de lleis pròpies de cada una, però es pot observar com la Federació Internacional de l'Automobilisme tracta la telemetria en el Ral·lis del mateix mode.

A continuació es presenten diferents punts de les regulacions esportives dels campionats mundials i dels regionals respecte a l'àmbit de la telemetria.

En primer lloc per als Ral·lis de campionats mundials hi ha dues seccions o articles a esmentar que es troben en el document propi de la institució anomenat: *2018 FIA World Rally Championship - World Rally Championship Sporting Regulations*.

Section 25.4.4: Speed during reconnaissance

The organiser may determine a speed limit in the special stages. Such limits must appear in the supplementary regulations and may be checked at any time during reconnaissance by use of GPS recorders provided by the FIA supplier to be carried by all drivers [9].

Secció 25.4.4: Velocitat durant el reconeixement

L'organitzador pot determinar un límit de velocitat en les etapes especials. Aquests límits hauran d'aparèixer a la normativa complementària i es poden consultar en qualsevol moment durant el reconeixement mitjançant l'ús de gravadors GPS subministrats pel proveïdor de la FIA per a ser portats per tots els conductors.

Roadbook section:

The GPS location of the start and finish of each special stage and of the regroupings and service parks must be shown. This shall be expressed in the form of degrees, minutes AND DECIMALS of minutes i.e.: 139° 36.379' [10].

Secció Roadbook:

S'ha de mostrar la ubicació GPS de l'inici i l'acabat de cada etapa especial, en els reagrupaments i en els serveis de parc tancat. Tot s'expressarà en forma de graus, minuts i decimals, és a dir per exemple: 139 ° 36.379 '(WGS84).

Per a Ral·lis de campionats regionals es troben gairebé els mateixos dos articles referents a la telemetria en el document publicat per la FIA anomenat: *2018 FIA Regional Rally Championship – Regional Rally Sporting Regulations*.

Section 25.4.4 Speed during reconnaissance:

The maximum speed limit of 80 kph is imposed on all special stages during reconnaissance. However, the organiser may determine a lower maximum speed. A system of monitoring the speed, route conformity and position of reconnaissance cars during reconnaissance of all special stages by means of GPS tracking devices will be used [11].

Secció 25.4.4 Velocitat durant el reconeixement:

El límit màxim de velocitat de 80 km/h s'imposa a totes les etapes especials durant el reconeixement. Tanmateix, l'organitzador pot determinar una velocitat màxima més baixa. S'utilitzarà un sistema de seguiment de la velocitat, la conformitat de la ruta i la posició dels cotxes de reconeixement durant el reconeixement de totes les etapes especials mitjançant dispositius de seguiment GPS.

Roadbook section:

The GPS location of the start and finish of each special stage and of the regroup and service parks must be shown. This shall be expressed in the form of degrees, minutes AND DECIMALS of minutes i.e.: 139° 36.379' (WGS84) [12].

Secció Roadbook:

S'ha de mostrar la ubicació GPS de l'inici i l'acabat de cada etapa especial, en els reagrupaments i en els serveis de parc tancat. Tot s'expressarà en forma de graus, minuts i decimals de minut, és a dir per exemple: 139° 36.379 ' (WGS84) o 139° 36' 379''.

Com es pot observar, les dues regulacions esportives són molt similars, tracten el sistema de localització per GPS de la mateixa forma i sempre en el moment del reconeixement dels vehicles i dels equips. Ara bé, hi ha diversos articles subjectes a cada una d'aquestes normatives que parlen sobre l'ús de la telemetria. A continuació es resumeixen però aquestes clàusules degut que són de caràcter semblant i són aplicables a totes les competicions de ral·li vigents, no només les presentades anteriorment.

Cal tenir en compte abans d'explicar dites clàusules que el Treball de Final de Grau presentat té la finalitat de facilitar el coneixement de la posició dels vehicles en el traçat per tal de millorar la seguretat dels pilots, és a dir, és de caràcter preventiu però no pas competitiu. És per això que no es pretén que aquesta informació sigui utilitzada pels equips de competició per obtenir coneixement de l'estat del vehicle. Cada escuderia té el seu propi sistema de telemetria i de tractament de dades del quals se'n parlarà més endavant.

En aquestes clàusules o articles 254A, 255 i 255A, s'expressa com la telemetria entre vehicle i equip o pit està prohibida sempre que sigui de caràcter competitiu.

Article 254A i 255A:

The transmission of data by radio and/or telemetry is prohibited. In place of the independent navigation system, it is possible to integrate the "tripmaster" functions into the engine control unit (ECU) and connect the latter with the co-driver's dashboard. No matter where they are placed, optical sensors for measuring the speed of the vehicle are prohibited. No link with the engine control unit or any other electronic unit is permitted and it is forbidden to connect a GPS antenna to the ADR unit [13].

Es prohibeix la transmissió de dades per ràdio i/o telemetria. En lloc del sistema de navegació independent, és possible integrar les funcions *Tripmaster* a la unitat de control del motor (ECU) i connectar-la amb el tauler del conductor. No importa on es col·loquin, els sensors òptics per mesurar la velocitat del vehicle estan prohibits. No es permet cap enllaç amb la unitat de control del motor o amb cap altra unitat electrònica i està prohibit connectar una antena GPS a la unitat ADR.

Per a poder comprendre aquests dos articles cal explicar que la unitat ADR és un firmware que ofereix a temps real el posicionament del vehicle mitjançant una combinació entre les dades multi-GNSS, un sensor inercial i la velocitat del vehicle. A més, el *Tripmaster* és un dispositiu o ordinador que auxilia la pantalla de control del copilot. La seva funció principal és mesurar la velocitat mitja del tram visualitzant dues distàncies, és a dir, utilitzant dos comptadors, i retenint el temps en el punt de partida i el d'arribada per així saber la distància total i la intermitja. N'hi ha de dues tipologies diferents, on la segona és la menys precisa: de sensor magnètic, on varis dispositius que es col·loquen a una de les rodes del vehicle i calculen la distància recorreguda; i de GPS, utilitzant aquest sistema per realitzar els càlculs entre distàncies.

L'altre clàusula o article referent a la telemetria és el següent:

Article 255:

The transmission of data by radio and/or telemetry is forbidden [14].

Es prohibeix la transmissió de dades per ràdio i/o telemetria.

Amb el coneixement de la normativa vigent en les competicions de Ral·lis podem afirmar que la telemetria durant el certamen està prohibida, és a dir, no es poden transmetre dades entre vehicle i pit quan aquest estigui en el traçat competint. La Federació va decidir prohibir la telemetria a temps real però permetent l'adquisició de dades per al seu posterior anàlisi i tractament per tal de regular nombre d'enginyers i mecànics en el *pitlane* i/o pista [15]. En aquest cas, i com s'explicarà més endavant la paraula telemetria agafa sentit quan es parla de l'adquisició de dades referents a l'estat del vehicle (temperatura de les rodes i del motor, pressió de les rodes, estat de la suspensió, etc.). És per això, i d'acord amb la normativa explicada anteriorment, que l'obtenció del posicionament del vehicle en el traçat si està autoritzat.

Es pot comprovar com en les clàusules mostrades es parla de la implementació del sistema GPS de dues formes, una amb gravadors GPS subministrats per la FIA, i l'altre, amb l'ús del GPS de manera indirecta a partir del *Tripmaster*. Es pot veure també gràcies a això i a que la telemetria està prohibida només pel seu caràcter competitiu i no pas per a la seguretat

dels pilots, que l'adquisició de dades i el seu tractament no està del tot prohibit. Per tant, es poden plantejar altres solucions per a l'assoliment de dades en relació amb el posicionament i el cronometratge a estudiar i/o implementar en el projecte.



Figura 4: Cotxe de Ral·lis competint [16].

3.3 TELEMETRIA:

Un altre punt important a exposar és la telemetria. En aquest apartat s'explicarà breument què és, com es realitza i per mitjà de quins dispositius, com es duu a terme la transmissió de la informació, i per a què serveix, entre d'altres. També es farà una introducció de la telemetria en l'automoció per a que més endavant es pugui ambientar en l'àmbit de la competició de motor.

La telemetria és el mètode automàtic que permet la obtenció i gravació de magnituds físiques d'un sistema per a la seva posterior transmissió, anàlisi i monitorització en una localització remota d'on s'han obtingut les dades. El propòsit de la telemetria és recollir dades d'un sistema remot i enviar-les a un punt on aquestes puguin ser avaluades [17].

La telemetria es realitza per mitjà d'un transductor que rep les senyals, un transmissor que les envia, un dispositiu de processament d'aquestes i un altre de gravació i monitorització [18]. La transmissió d'informació es pot dur a terme per ràdio, infrarojos, ultrasons, sistemes GSM, satèl·lit i/o cable depenent de les aplicacions i condicions o entorn en el que el sistema serà implementat [19].

L'objectiu de la telemetria és permetre la mediació d'aquestes magnituds per poder conèixer els estats dels processos i del sistema, així com controlar de forma remota el seu funcionament, corregir possibles errors i utilitzar aquestes dades per a profit de l'usuari [20].

Hi ha un ample ventall d'opcions on utilitzar la telemetria, però en aquest cas ens interessa saber com es tracta en l'automoció [21]. La telemetria vehicular és utilitzada per a analitzar el rendiment del cotxe, ens ajuda amb el desenvolupament d'aquest i a determinar els paràmetres i mantenir-ne els registres entre altres [22]. El rendiment del motor, l'eficiència aerodinàmica, la pressió de l'oli, d'adherència dels neumàtics, el desgast dels frens, entre altres, són uns dels exemples dels valors que es mesuren i que són útils per a dites finalitats [23].

En les competicions, en comparació amb els vehicles familiars, hi ha paràmetres que agafen més importància que d'altres. Tenir més probabilitats de millorar les condicions d'adherència, velocitat, direcció i rendiment és preuat, i gràcies a la telemetria es poden mesurar i estimar les traçades, la trajectòria i inclús l'angle d'inclinació de l'automòbil.

Hi ha d'altres punts molt importants a considerar com per exemple la seguretat. Per mitjà d'un control i gestió de tots aquests valors es pot fer una millora contínua de l'objecte a tractar i posteriorment a la seva implementació, es pot garantir que la seguretat en la conducció ha millorat sense afectar al ritme competitiu [24].

L'ús de l'adquisició de dades en els automòbils de carreres pot revelar errades potencials abans de que succeeixin. L'estudi de tots aquests valors permet fer una previsió de l'estat del vehicle abans de que surti a carretera, i per tant permet anticipar-se a possibles esdeveniments. També permet trobar on són els límits per a obtenir un millor rendiment tant del vehicle com del conductor, degut a que molts dels pilots i mecànics per precaució a possibles situacions desfavorables no treuen tot el potencial de l'automòbil per desconexió d'on es troba aquesta barrera [25].

3.4 TELEMETRIA EN COMPETICIONS AUTOMOBILÍSTIQUES:

Segons la competició automobilística i la normativa que la regeix, la telemetria s'adapta a les necessitats de cada equip i de cada competència. Són poques les competicions en les que la telemetria està permesa, i encara que és més comú veure-ho en circuits tancats on és més fàcil la seva implementació, no ho és pas en Ral·lis on es dificulta aquest procés. Això permetrà conèixer fins a quin punt té importància el tractament de les dades obtingudes del vehicle en l'*autoracing*,

També es procedirà a fer una explicació de la telemetria en la Fórmula 1 agafant-la com a referent degut a què és una de les categories més importants a nivell mundial i una de les que té un sistema de telemetria més complert. A més, es compararà breument amb alguns sistemes instaurats en altres categories i posteriorment es comentarà com es realitza la telemetria en les competicions de Ral·lis comparant-la així amb les altres categories exposades, per poder valorar d'aquesta manera quin sistema de posicionament i cronometratge és el més adient per al projecte.

Hem de tenir en compte però, que les competicions de Ral·lis es regeixen per altre conjunt de normatives, i que per tant, podem trobar grans diferències entre ambdues categories. Tot i així ajudarà per a la comprensió de la funcionalitat, de la magnitud i la importància del sistema.

La telemetria en la Formula 1, doncs, és de les més complexes i costoses. Mitjançant una comunicació bidireccional, és capaç de vigilar, avaluar i gestionar prop de 10.000 aspectes del vehicle a temps real. El vehicle és dotat de centenars de sensors col·locats en el motor, la transmissió, les llums, l'aire condicionat, la transmissió, etc., i s'és capaç de controlar, fer canvis en la configuració del cotxe i realitzar actualitzacions del *software* de forma remota [26].

Aquest últim punt on la comunicació és bidireccional però, va ser prohibit per la FIA l'any 2003, degut a què no es volia promoure l'ús i la manipulació dels paràmetres del

monoplça des dels garatges o boxes, i per tant va passar a ser de caràcter unidireccional fent que només el pilot sigui l'únic qui pugui fer-ho des del seu volant [27].

El mostreig de totes aquestes dades i valors recollits es fa mitjançant pantalles. Principalment en podem trobar tres: la pantalla de sincronització, on es mostra el dorsal del conductor, nom, posició, temps de volta, temps per sectors de pista, número de voltes, etc.; la pantalla de temps i velocitat, que ensenya l'ambient i la temperatura de la pista, la humitat, la pressió, velocitat i direcció de l'aire, precipitacions, etc.; i la pantalla comparativa de voltes, on es duu a terme una representació gràfica de com el conductor traça el recorregut [28].

Totes aquestes senyals s'envien a temps real, mentre el cotxe està en moviment i són refrescades cada 2 ms. La transmissió de dades es realitza gràcies a una antena incorporada al vehicle, als repetidors repartits al llarg del circuit que envien les senyals als boxes, i a les antenes instal·lades al camions de cada equip. Cada cotxe té el seu propi sistema de telemetria, i aquest és proporcionat per la Federació Internacional de l'Automobilisme amb un conveni amb l'empresa McLaren en el 2006, desenvolupadora i subministradora de la telemetria en la Fórmula 1. Es va decidir que encara que tots els equips tinguessin, com és clar, el seu propi sistema de monitoratge per a gestionar la conducció dels seus pilots i monoplaces, finalment haurien de portar aquest instal·lat per la FIA. És a dir, la Federació gestiona la telemetria i és l'encarregada d'enviar la informació a les escuderies per mitjà d'un únic sistema telemàtic, i posteriorment cada una rep la seva pròpia informació dels seus monoplaces per a ser tractada i valorada.

Si totes les escuderies porten el mateix, com es controla per a que aquests no facin ús de les dades dels contrincants per a obtenir avantatge en les curses?

El sistema utilitzat és l'anomenat Retransmissor OFDM en banda L. Aquest existeix des de l'any 1999 i transmet les dades a una freqüència d'entre 1,45GHz i 1,65GHz en el cas de la Fórmula 1. La Banda L, però, pot treballar a un rang de freqüències més ampli fins a 2,9GHz. Com es tracta d'un protocol de radio antic, no té cap tipus de xifrat, i l'única cosa que garanteix que els equips facin només ús dels seus propis valors telemàtics és que no es diu el mode d'empaquetament de les dades en la freqüència corresponent. És a dir, els

competidors desconeixen el temps de transmissió exacte de la senyal, la quantitat d'informació que envia, com la federació gestiona el sistema, etc. A més del protocol, s'ha de tenir en consideració com es comuniquen les diferents parts del vehicle amb el *data logger* o panell de control, i la transmissió de tota aquesta informació cap a boxes.

La comunicació dels elements amb el quadre d'instruments com a receptor principal de tota la informació es fa mitjançant una configuració estrella. L'*Electronic Control Unit* (ECU) es connecta amb el panell mitjançant el protocol *CAN BUS* i s'actualitza 200 cops per segon. Aquesta proporciona diferent informació com la temperatura, les revolucions, la marxa, pressió, velocitat de cada roda, estat de l'oli, etc. Per als demès paràmetres que es desitgin conèixer, es precisa de la instal·lació de sensors, com per exemple, giroscopis i sensors d'aerodinàmica i posició.

En total en un monoplaça de Fórmula 1 ens podem trobar a la vora de 300 sensors, però com s'ha explicat, el sistema telemètric no està format només de un protocol de transmissió de dades i de sensors en el vehicle, també precisa d'aparells encarregats de transmetre tota aquest informació.

En primer lloc està la ECU o centre de dades. Com s'ha comentat, és l'encarregada de recollir tots els valors proporcionats pels sensors i controlar-los. En la Fórmula 1, la ECU facilita i gestiona tota la informació del vehicle, però en altres competicions, les ECUs no solen ser tant complexes, pel que com s'ha argumentat abans, poden requerir de sensors extres que les completin [29].



Figura 5: ECU McLaren tancada [30].



Figura 6: ECU McLaren oberta [31].

Tornant a la Fórmula 1, el centre de dades o ECU és estàndard i obligatori pels tots els cotxes de la graella, i està fabricada per l'escuderia McLaren en col·laboració amb l'empresa Microsoft. L'arquitectura en el que està basat el dispositiu és la *Power-PC*, i conta amb dos processadors de 40MHZ, 1GB de memòria estàtica, 1MB de memòria flash ROM i 1MB de memòria SRAM. Transmet les dades a una velocitat de 230Kbps, i mitjançant un cable Ethernet o RS-232 , es pot connectar a un ordinador portàtil i ser configurada, sempre respectant la normativa vigent.

En un segon pla s'hi ubica l'antena, encarregada de transmetre tota la informació recollida del cotxe proporcionada per la ECU i enviar-la al box. Intermediàriament, s'utilitzen repetidors al llarg del traçat per a redirigir la senyal al centre de dades, és a dir, als camions de les escuderies situats en el *Paddock*, i posteriorment, gràcies a l'antena que hi ha en aquests camions, les dades són transmeses fins als boxes.

L'antena del monoplaça se situa en el morro i a més de 10 centímetres de distància del terra per a evitar possibles interferències, degut a què no és de gran abast, i per això es requereixen dels repetidors esmentats. És unidireccional i treballa a una freqüència mitjana de 1,5GHz. Té un guany d'aproximadament +3dBi i una potència de 160W. En la part posterior del cotxe també s'hi troba incorporada una altra antena unidireccional.

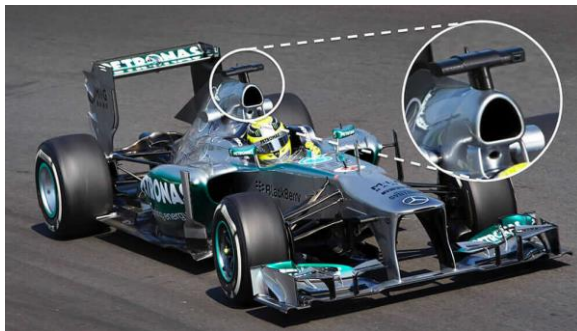


Figura 7: Cotxe de Fórmula 1 amb antena [32].



Figura 8: Antena de cotxe de Fórmula 1 [33].

Finalment, l'antena base ubicada en els camions va connectada a una unitat emissora/receptora CBR-610 que actua com a mòdem i encripta i descripta la senyal codificada [34]. L'antena base treballa a la mateixa freqüència que els altres dispositius,

en banda L [35], i conta amb una taxa de transferència de fins a 100Mbps. La funcionalitat d'aquesta unitat és preparar la informació registrada pels sensors de tal forma que pugui ser posteriorment gestionada, interpretada i visualitzada mitjançant el *software Atlas* [36].

Un cop explicat com es realitza la telemetria en les competicions, havent agafat com a referent la Fórmula 1, cal comparar-ho amb com es duu a terme el cronometratge i el posicionament dels vehicles en Ral·lis. Això permetrà veure les similituds i diferències per a estudiar si són factibles certs sistemes en Ral·lis o bé se'n poden buscar d'altres que s'adeqüin millor.

Com s'ha comentat, la Federació Internacional de l'Automobilisme té prohibida la telemetria a temps real però permet l'adquisició de dades per al seu posterior anàlisi i tractament. En les competicions de Ral·lis mundials, o en les que disposen de més recursos, el cronometratge i la localització del vehicle es duu a terme mitjançant l'ús d'un GPS i d'un *transponder* en cada automòbil, o en el seu defecte, del dispositiu *Tripmaster*. Quan la cursa ha acabat, és decisió de la institució de publicar els resultats obtinguts els quals permeten millorar la seguretat en el tram, fer prediccions i establir estratègies per a trams que encara s'han de recórrer. Tota la demès informació obtinguda del vehicle, com per exemple l'adquirida per mitjà de sensors o pels valors atorgats per la ECU, pot ser tractada pels equips com s'ha explicat sempre i quant es faci fora de competència o altrament dit, quan el vehicle no es troba corrent en la pista [37].

Per altra banda, la federació dóna un llibre de ruta a cada competidor on s'hi descriu el camí a seguir, es detallen els trams d'enllaç i els cronometrats, els temps que han de fer, la distància que han de recórrer, etc. A més, els pilots tenen un carnet de ruta que permet portar el control horari i és on se'ls hi determina a els temps d'actuació, és a dir, quan surten d'un determinat control i a quina hora han d'arribar al següent.

Tot això facilita el desenvolupament de la competició i redueix l'error en el cronometratge i en el coneixement d'on es troben ubicats els vehicles.

Ara bé, també cal recordar que encara que el sistema GPS en els vehicles només es trobi en determinades competicions de Ral·lis, per normativa es determina que en tots els

certàmens d'aquesta competició, ja sigui des de les mundials fins a les regionals, en els controls de sortida i en la meta hi ha d'haver cronometratge. Aquest es porta gràcies a la ubicació d'unes cèl·lules fotovoltaïques als controls de sortida i de meta, connectades a cronometres i a un rellotge amb l'hora oficial de la competència, normalment determinada per un GPS. En els controls de pas, però només es porta un control del posicionament del vehicle determinant, és a dir, si per aquest punt l'automòbil ha passat, però no s'hi porta un control del temps que està realitzant.

En els entrenaments lliures dels Ral·lis o bé en les altres competicions automobilístiques hi ha empreses que donen els seus serveis en el cronometratge i posicionament fent ús de diferents sistemes. Com es podrà veure en el capítol 3.6, «*Estudi de mercat: empreses i sistemes de telemetria*», és comú que s'usin transponders passius o RFID, sistemes GPS, combinacions d'aquests dos, com en el cas de les curses atlètiques, i en algunes competicions automobilístiques s'hi poden trobar sistemes que implementen GPS i GLONASS a la vegada. Aquestes empreses també proporcionen *softwares* per a la gestió de les dades obtingudes. Tot i així el que no és tant comú són els sistemes GPS+GNSS (GPS més GLONASS, Beidou i Galileo, en els casos més complets) ja que no resulten ser tant econòmics com els anteriors, i segons quina competició s'estigui realitzant, no es disposa de tant pressupost com per fer-ne ús, com és el cas dels Ral·lis.

La telemetria en la Fórmula 1 és molt més completa, i de la mateixa forma com ho poden fer en els Ral·lis, també es pot obtenir informació del vehicle a través de sensors i de la Electronic Control Unit, però en aquesta competició es pot realitzar a temps real. A més, cal afegir que és unidireccional, és a dir, només es poden obtenir dades dels cotxe, però no es pot modificar el comportament d'aquest des del box, sinó que si es precisa, ho ha de realitzar el pilot des del monoplaça. La única cosa que poden fer els equips és rebre totes aquestes dades que posteriorment a la cursa, seran tractades per a benefici del següent gran premi. Els sensors i la ECU van acompanyats d'un gran sistema de telecomunicacions atorgat per la FIA. Aquest està format per antenes, transponders, emissors, receptors, entre d'altres, i un software que ho gestiona. Es recullen les dades dels monoplaça i es transmeten cap a una central on la federació posteriorment les facilita a la corresponent escuderia.



Figura 9: Transpondedor [38].

Com és clar, la telemetria en la Fòrmula 1 és infinitament més cara i completa que la que disposen en els Ral·lis, pel que els hi permet obtenir molta més informació, adquirir-la d'una forma més ràpida, segura i precisa. El posicionament del vehicle i el seu cronometratge es segueix en tot el circuit, no pas com en els Ral·lis on només es comptabilitza en la sortida i l'arribada. A més, a alçada de la meta, s'hi troba ubicat un sistema d'infrarojos per fer una doble comprovació juntament amb el *transponder* de que el vehicle ha passat per aquell punt en un determinat moment.

Per tant podem concloure que encara que en les dues competències es pugui dur a terme la telemetria, hi ha grans diferències. Tot i així, el punt important de cada una d'elles és el referent a com es realitza el posicionament i el cronometratge del vehicle. És també per això que s'ha mirat empreses i altres competències en les que s'implementi aquest tipus de telemetria, per així poder equiparar, comparar i decidir quin sistema és el més adient per al projecte presentat, o bé, buscar alternatives que puguin servir.

3.5 SISTEMES DE LOCALITZACIÓ I CRONOMETRATGE:

El protocol automatitzat que situa objectes mòbils en l'espai i en un instant de temps determinat s'anomena sistema de localització. Per a la realització del projecte es mostraran a continuació diferents tipologies de sistemes de localització i es detallaran diferents formes per a portar un seguiment del vehicle i el cronometratge del temps en la competició. Posteriorment s'exposarà un petit estudi que determini quin d'aquest o aquests sistemes podrien ser utilitzats en les competicions automobilístiques tenint en compte avantatges i desavantatges de la seva implementació.

3.5.1 SISTEMES D'IDENTIFICACIÓ PER RADIOFREQUÈNCIA: RFID I TRANSPONEDOR:

Un transponedor o *transponder* és un dispositiu electrònic que s'utilitza en la recepció, amplificació i reemissió de senyals en comunicacions espacials. El *transponder*, del qual el seu nom prové de les paraules en anglès *Transmitter* (transmissor) i *Responder* (Contestador), adapta la senyal satèl·lit a la freqüència dels equips que la reben o l'emeten. Aquest sistema és de tipus RFID o identificador per radiofreqüència, és a dir, utilitza ones de ràdio.

Existeixen dos tipus d'etiquetes o sistemes RFID:

- 1) Passius: Són sistemes d'abast limitat, fins a 10 metres a altres freqüències, que contenen un circuit LC que genera una ona electromagnètica dèbil quan es troben dins d'un camp magnètic. No requereixen de font d'alimentació perquè la pròpia antena de l'etiqueta és capaç d'interactuar amb el camp magnètic i obtenir així l'energia. Quan l'etiqueta passiva rep dita energia, emet una senyal codificada amb el seu identificador, el qual és un número de sèrie que identifica a la persona o objecte. Aquesta és captada per una antena i transmesa a un sensor que descodifica la informació continguda en l'etiqueta.

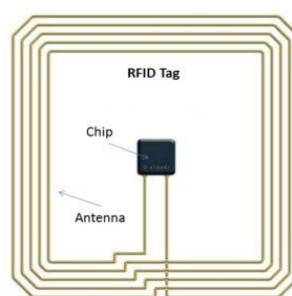


Figura 10: Xip RFID [39].

- 2) Actius: Els RFID actius o altrament coneguts com a transponedors, són utilitzats en sistemes de localització, navegació i posicionament. Són els encarregats de modificar i adequar la senyal des d'un receptor, normalment una antena receptora, fins a un emissor o antena emissora, amb la finalitat de retransmetre la informació

rebuda. En aquests sistemes el transponedor respon a una freqüència diferent a la de la pregunta o senyal d'entrada, i té definides quines han de ser les freqüències d'entrada i sortida. L'abast dels transponedors actius és molt ampli, tant que fins i tot s'utilitzen en equips espacials com per exemple la televisió per satèl·lit, i en la navegació i cerca i rescat marítim [40].

Els transponedors de tipus actiu són més comuns que siguin utilitzats en competicions automobilístiques, mentre que els passius solen ser més emprats en carreres atlètiques [41].

Ens els equips de cronometratge professionals com en el cas del *motorsport*, aquests sistemes estan formats per una antena, un *transponder* i un descodificador. L'antena emet i rep les ones electromagnètiques i la podem trobar situada en la línia de meta, en punts entremetjats del traçat [42], com en el cas de la competició NASCAR [43], o fins i tot enterrada sota l'asfalt o la terra [44]. L'antena o *Loop* és l'encarregada d'emetre la senyal o camp electromagnètic que interactuarà amb el *transponder* i excitarà el xip que porta dins. Quan el xip capti la suficient energia l'exposar-se a aquest camp, emetrà una senyal de radio que serà captada per l'antena de nou i enviada al descodificador [45]. Cada vehicle de competició té un *transponder* amb un únic codi ID i és identificat quan passa per la línia de sortida o meta [46].

El *transponder* va ubicat en el vehicle i s'encarrega d'emetre la senyal que és captada per l'antena. Depenent del tipus de competició, podem trobar-ne de diferents, com per exemple els de tipus MX. Aquests emeten una forta senyal i són utilitzats per exemple en motocròs, degut a que són vehicles alts i les antenes en aquestes curses es troben enterrades sota terra, i en fórmula 1, perquè els hi són molt convenient ja que la senyal del *transponder* pot ser captada per l'antena a velocitats superiors a 360 km/h.

Finalment ens trobem amb el descodificador o *decoder*, el dispositiu que s'encarrega de rebre, traduir la senyal i guardar-la per a la seva posterior gestió. El *decoder* és l'encarregat d'interpretar la senyal rebuda per traduir-la a temps [47]. Quan aquest dispositiu rep la senyal emesa per l'antena, obté el número (dorsal o identificador del xip), i se li assigna l'hora de pas actual és a dir, l'hora que marca el rellotge del descodificador [48]. El

dispositiu és capaç de controlar fins a vuit vehicles a l'hora sobre la mateixa antena sense risc de perdre informació.

Per al seu correcte funcionament s'han de tenir en compte dues consideracions que els transpondedors passius s'han de sotmetre's en el camp magnètic el suficient temps per a que la corrent elèctrica sigui la suficient com per encendre la radio. En el cas dels actius no cal ja que la corrent elèctrica és subministrada per una pila. A més, s'ha de tenir en compte que quan s'ha iniciat l'emissió de la senyal, el codi identificador és proporcionat múltiples vegades però només s'ha de registrar pel descodificador un cop. És per això que aquests dispositius esperen a registrar l'hora de detecció del xip al deixar de rebre la senyal, i posteriorment avaluen quina d'elles ha sigut més nítida, és a dir, el transpondedor estava més a prop de l'antena, i registren l'hora escollida [49].

Gràcies als sistemes de cronometratge per transpondedor es poden realitzar diferents funcions entre les quals podem destacar el cronometratge a mesura, ja que s'adapta a cada campionat, especialitat o circuit; el control de velocitat en *pitlane*; i el posicionament del vehicle en el traçat. Com ja s'ha explicat, el projecte presentat es basa en aquest últim punt no només per al coneixement de la ubicació dels cotxes de ral·li en la competició sinó sobretot per al control d'incidents [50].

Cal afegir que en el mercat també existeixen empreses que realitzen sistemes de comunicació bidireccional, és a dir, no només la informació és rebuda pel *decoder* tal i com s'ha explicat anteriorment, sinó que aquesta també pot ser mostrejada als pilots en displays instal·lats en el vehicle, proporcionant així la informació de la posició en el traçat, temps oficial, voltes realitzades, posició respecte als altres participants, diferències amb adversaris, i banderes i incidents [51].

Tot i així, es recorda que d'acord amb la normativa de les competicions de Ral·lis, la telemetria està prohibida, i per tant, els equips no poden fer ús d'aquest últim sistema mostrat. En tot cas, és un sistema útil per a la Federació, ja que li pot proporcionar la informació necessària de la competició i utilitzar-la en l'àmbit de la seguretat com és en el propòsit del projecte de final de grau.

3.5.2 BLUETOOTH:

Bluetooth és protocol de transmissió de dades per radiofreqüència de baix consum i curt abast. Quan dos dispositius que simultàniament estan fent ús del protocol Bluetooth es troben dins del mateix petit rang d'abast o «piconet», s'estableix una connexió entre ells per mitjà de TAGs o etiquetes respectant el procediment de pregunta-resposta [52].

Aquest protocol és utilitzat per establir la comunicació de molts dispositius tal com telèfons, impressores, mòdems, auriculars, entre altres. Quan dos o més aparells es troben en una àrea reduïda sense gran necessitat d'ampli de banda ni precisen d'una transmissió de dades ràpida, aquest sistema pot ser útil ja permet una connexió de forma ràpida i l'enviament i recepció de dades, mantenint a la vegada sempre disponible la freqüència de comunicació encara que no s'estigui emetent ni rebent res. D'aquest últim aspecte se'n denomina *Hold*.

Ara bé, té un gran inconvenient que pot ser encara més greu en el món del *motorsport*, i és la confidencialitat de la informació. El mode *Sniff* facilita que qualsevol dispositiu a pocs metres de l'aparell que transmet les dades i que estigui comunicant-se a la mateixa freqüència rebi totes les dades que s'estiguin transmetent siguin dirigides a aquest o no.

Els dispositius Bluetooth es componen de dues parts respecte al hardware: un dispositiu de ràdio encarregat de modular i transmetre la senyal; i un controlador digital la processa. El protocol Bluetooth defineix un canal de comunicació amb una transmissió màxima bruta de 720 kbit/s en un rang òptim de 10 m que poden ser ampliat fins a 100 m amb repetidors. La freqüència d'operació és de 2'4 a 2'48 GHz.

La comunicació es pot donar de forma síncrona o asíncrona, fent variar així que la transmissió de dades de forma síncrona suporta 432'6 kbit/s en ambdues direccions, és a dir, tant si envia com si rep, i la transmissió asíncrona pot suportar fins a 721 kbit/s. Per assegurar que els paquets de dades arribin en ordre es pot recórrer a la comunicació síncrona.

Existeixen quatre classes de Bluetooth, on cada una estableix un abast diferent. La classe 1 dóna un abast de fins a 100 metres, mentre que la classe 2 el dóna entre 5 i 10 metres, la 3 proporciona menys d'un metre, i la 4 no arriba al mig metre.

Per a què la comunicació Bluetooth pugui ser efectiva per al desenvolupament del treball plantejat, es requeriria de la utilització de la classe 2 en circuits on el tram sigui estret, però tot hi així per assegurar que s'estableix una bona transmissió de dades seria millor l'ús de repetidors per a implementar la classe 1.

Per altra banda, s'hauria de tenir en compte que encara que l'establiment de la connexió entre dispositius es dugui a terme de forma ràpida, la transmissió de informació no ho és tant, i s'hauria de valorar si n'és lo suficient per a les necessitats requerides.

3.5.3 WIFI

WIFI és una tecnologia que permet la connexió entre dispositius sense necessitat de cablejat. Hi ha diversos estàndards IEEE 802.11 que fixen les característiques d'aquest com ja pot ser la freqüència de transmissió, en el cas del WIFI és de 2,4 GHz, i la velocitat de transmissió que va entre 11 Mbits/s i 300 Mbits/s. El estàndard WIFI està pensat per interconnectar aparells a distàncies curtes, menors a 100 metres, pel que l'ús d'aquest a distàncies menors el pot fer sotmetre a interferències que poden connotar poca seguretat.

Per a distribuir la xarxa WIFI es precisa de diferents aparells: dispositius de punts d'accés que permetin connectar aparells a una xarxa existent sense necessitat de fils; repetidors per ampliar la cobertura de la xarxa; i enrutadors que facilitin l'accés a internet. Un dels desavantatges de utilitzar un sistema basat en WI-FI és que es poden produir accessos no autoritzats als dispositius que utilitzin xarxes WIFI no protegides, ja que accedint a aquesta xarxa es pot supervisar i registrar tota la informació que s'estigui transmetent.

La comunicació per WI-FI brinda diferents avantatges com per exemple la no dependència de cables i la permissió de que una gran quantitat de dispositius es puguin connectar sense problemes, entre d'altres. Per altra part, n'hi ha desavantatges com ara una menor velocitat respecte a connexions cablejades, poca seguretat en cas de no tenir la protecció adient, que no es compatible amb altres tipus de connexions sense cables com el Bluetooth i el GPRS, i que la potència de connexió es veu disminuïda per agents físics que afectin la cobertura [53].

3.5.4 LORA WAN:

És un protocol de xarxa que utilitza la tecnologia LoRa per comunicar i gestionar dispositius LoRa a través de nodes o dispositius finals i *gateways* o servidors de xarxa central que s'encarreguen d'enviar i rebre la informació [54]. És indicada per operar en xarxes d'abast local, regional, nacional o globals [55].

LoRa WAN utilitza l'arquitectura de xarxa en estrella per interconnectar els dispositius, permet la connexió al servidor de xarxa central per mitjà de connexions IP, té un abast de deu a quinze quilòmetres, i duu a terme una baixa transferència de dades que arriba als 242 bytes/s [56]. La comunicació es pot dur a terme de forma unidireccional i bidireccional, i cada canal pot transmetre dades en freqüències diferents que depenen de la distància d'abast, la duració i el consum d'energia del missatge. La velocitat de transmissió varia entre 0,3 kbps i 50 kbps [57].

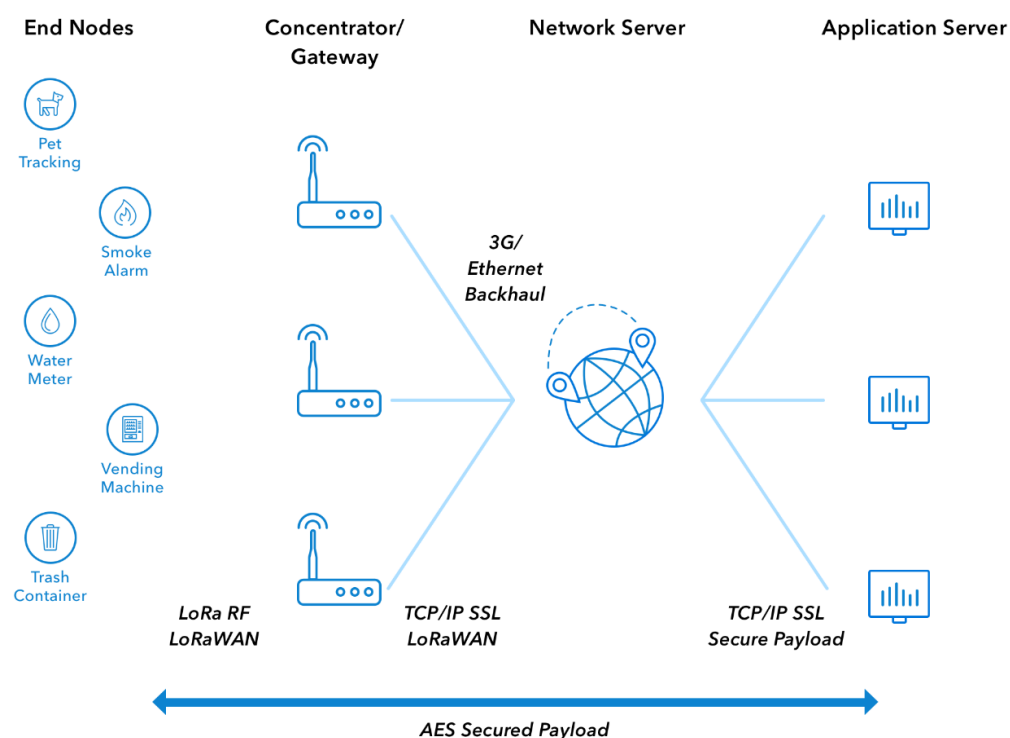


Figura 11: Comunicació LoRa WAN [58].

3.5.5 SISTEMES DE GEOLOCALITZACIÓ: GPS I SISTEMES GNSS:

El GPS o Global Positioning System és un sistema nord-americà que permet la ubicació d'un objecte amb una precisió de metres en tot el globus terraquí. Mitjançant la utilització de tres o més satèl·lits i trilateració es pot conèixer la posició de l'objecte en qüestió. La trilateració és el mètode pel qual es pot determinar la ubicació d'un punt a partir de tres punts coneguts [59].

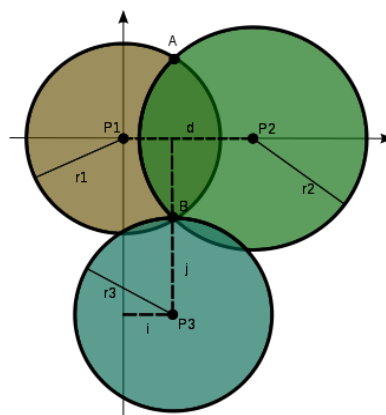


Figura 12: Representació dels satèl·lits [60].

Tal i com il·lustra la imatge en un pla bidimensional, cada punt P1, P2 i P3 és un satèl·lit amb posició coneguda en l'espai. Aquests emeten una senyal amb l'hora de propagació i identificador de cada un, que quan és rebuda pel dispositiu GPS és comparada amb l'hora de recepció determinant així la distància que hi ha entre el satèl·lit i el dispositiu. El conjunt de les tres distàncies de cada satèl·lit partint del seu punt principal formen tres radis que a l'interseccionar-se determinen un punt en concret o posició en el que es troba el dispositiu GPS.

Ara bé, en el cas del sistema GPS el pla és tridimensional, pel que els satèl·lits a emprar han de ser quatre. S'obté d'aquest mètode la latitud, longitud i altitud del punt trobat o dispositiu GPS. Tot i així, cal remarcar que com més satèl·lits donin servei al mòdul GPS, més precisió s'obtindrà ja que el temps de transmissió de dades del satèl·lit al receptor serà menor.

El sistema GPS el conformen una xarxa de vint-i-quatre satèl·lits a 20180 km d'alçada respecte al nivell del mar amb trajectòries sincronitzades per a cobrir tota la superfície de la terra. Cada un emet contínuament un missatge de navegació a 50 bits per segon en el que una transmissió que dura 30 segons envia 1500 bits de dades codificats a una freqüència d'ona de 1575 MHz. La senyal de GPS proporciona l'hora de la setmana d'acord amb el rellotge atòmic, número de setmana i un informe de l'estat del satèl·lit que permet saber si hi ha algun error en aquest. Els satèl·lits són identificables gràcies a que cada trama porta una seqüència de dades aleatòria i coneguda pels receptors GPS.

La fiabilitat d'aquest sistema ha anat millorant amb els anys, tot i així, la determinació del punt on es troba el receptor no és acurada i pot variar entre deu i quinze metres. Com s'ha esmentat anteriorment, com més satèl·lits capti el GPS, o altrament dit, com més satèl·lits visibles hi hagi, de més precisió es disposarà. Normalment se'n capten entre 8 i 12, i fent d'aquesta forma que si es rep cobertura d'entre set i nou satèl·lits, es pot determinar la ubicació de l'objecte en qüestió amb un error inferior a 2'5 metres en el 95% dels casos. Aquests casos en els que la precisió no es tant bona són deguts a diversos factors que hi influeixen. S'hi poden donar gran varietat de fenòmens com per exemple un retràs de la senyal degut al rebot d'aquesta en edificis o muntanyes, errors orbitals on les dades de la òrbita no acaben de ser del tot encertats, pot variar segons la geometria dels satèl·lits o el nombre de satèl·lits visibles, errors en el rellotge del GPS, entre d'altres.



Figura 13: Mòdul GPS [61].

Hi ha un seguit de formes per a millorar la precisió del GPS. Un dels casos en podria ser a partir de l'ús de la infraestructura Multi-GNSS (Global Navigation Satellite System). El sistema GNSS permet al GPS i als altres sistemes de navegació existents treballar entre ells

gràcies a que tots compleixen amb un estàndard que els fa compatibles. A part, és viable i millora encara més la precisió utilitzar sistemes de augmentació basats en satèl·lits o SBAS els quals s'explicaran més endavant. És així que quan tots aquests diferents sistemes GNSS i/o SBAS cooperen és més encertada la posició del receptor, aconseguint d'aquesta forma arribar a tenir una variació màxima de poc més de dos metres. La precisió també es veu afectada, com en tots els casos, segons el nombre de satèl·lits visibles hi hagi, és a dir, quants més satèl·lits de qualsevol sistema de geolocalització que s'estigui emprant, donin servei, més encertada serà la posició buscada. Per tant, quants més sistemes de navegació estiguin treballant alhora, més satèl·lits poden donar servei.

Existeixen molts sistemes de navegació que poden treballar per separat o formar part de la infraestructura GNSS. Els més importants i coneguts són el GLONASS, el Galileo i el Beidou o Compass. Tot i així, n'existeixen d'altres com per exemple el desenvolupat per la Índia anomenat IRSS o Indial Regional Navigation Satellite System que compta amb 7 satèl·lits operatius.

El GLONASS és el sistema de geolocalització per satèl·lit desenvolupat per la Unió Soviètica i avui en dia administrat per la Federació Russa, que consta d'una constel·lació de 24 satèl·lits operatius situats en tres plans orbitals amb 8 satèl·lits en cada un. Amb una altitud de 19100 km, més baixa doncs de en la que es troben els satèl·lits del sistema GPS, poden ser visibles de 6 a 10 satèl·lits que combinats amb els que ho poden ser del GPS es pot obtenir servei d'entre 14 i 20. És per tant que la combinació Multi-GNSS proporciona una major qualitat en la senyal, i en aquest cas s'aconsegueix determinar la posició amb un marge d'error d'entre un i tres metres, molt menor a la que s'obté amb l'ús d'un sol sistema de geolocalització [62, 63].

Per altra part trobem el sistema de navegació Galileo, desenvolupat per la Unió Europea i la Agència Espacial Europea (ESA). És el sistema de geolocalització més complet i eficaç, comptant amb 27 satèl·lits en actiu i una precisió d'entre quatre i vuit metres que disminueix fins al metre si s'usa un sistema SBAS [64, 65].

El sistema de geolocalització Xinès Beidou és el tercer més utilitzat després del GPS i del GLONASS. Amb una precisió al marge de 10 metres de distància, compta amb 33 satèl·lits en servei que augmentaran en 45 per l'any 2020 fent també que la precisió de posicionament millori fins als 2'5 metres. Fins aquest any 2018 el sistema Beidou només ofería els seus serveis a Xina i als seus països veïns, ara ja els ofereix a tot el món comparant-se així amb els seus competidors GPS, GLONASS i Galileo [66, 67].

Una de les diferències que caracteritzen aquest sistema i que el diferencien de la resta és que Beidou utilitza òrbites geoestacionàries. El satèl·lit gira en el mateix sentit que ho fa la rotació de la terra i a una velocitat proporcional a la distància entre els dos, fent així que el període orbital del satèl·lit i del planeta sigui el mateix, i que des de la terra l'objecte geoestacionari sembli immòbil en el cel. D'aquesta forma no es precisen de tants satèl·lits en òrbita però es limita la cobertura sobre la terra. És per això que Xina ha expandit els seus serveis per tot el món introduint nous satèl·lits i ho continuarà fent fins l'any 2020.

Un altre dels aspectes que diferencien el sistema Beidou dels altres és que calcula les coordenades únicament amb dos satèl·lits i una estació en la terra. Això fa que es precisi d'una comunicació bidireccional degut a què es necessiten enviar senyals des dels satèl·lits i des dels dispositius remots per a conèixer les coordenades. D'aquesta manera es compromet la precisió del sistema de geolocalització i s'està ocupant més ampli de banda del espectre.

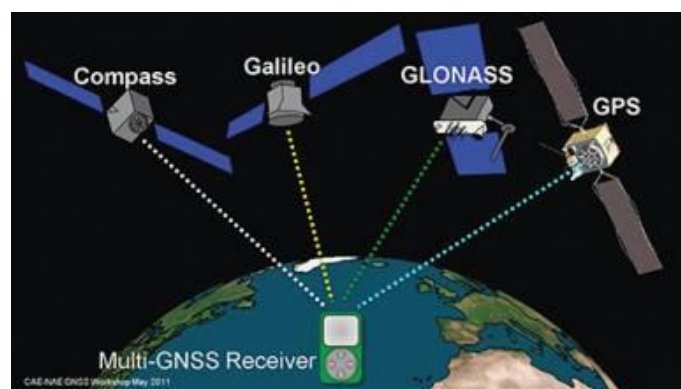


Figura 14: Representació gràfica dels diferents satèl·lits [68].

Com s'ha esmentat, hi ha varies formes de millorar la precisió de qualsevol sistema de navegació. La primera, ja explicada, és mitjançant a la utilització de diferents sistemes de navegació per a que cooperin per a usar un rang major de satèl·lits. Les altres dues són utilitzar per una banda el sistema de GPS diferencials i per l'altre sistemes d'augmentació SBAS. Totes aquestes formes són compatibles entre si, per tant, com més s'usin a la vegada, més eficàcia i precisió s'obtindrà.

El GPS Diferencial o DGPS és un sistema que permet augmentar la precisió del sistema de navegació GPS fins a un 50%. Es basa en calcular i transmetre correccions posicionals des d'una estació de referència amb una posició coneguda. L'estació rep la posició del GPS i calcula l'error comés pels satèl·lits comparant-la amb les seves pròpies coordenades. Les correccions es produeixen cada pocs segons i per a que siguin vàlides el receptor o GPS ha d'estar a una distància de l'estació menor a mil kilòmetres [69, 70, 71].

Per altra banda, existeixen els sistemes d'augmentació basats en satèl·lits o SBAS (Aircraft Satellite-based Argumentation System). Aquests proporcionen una correcció de les senyals dels sistemes que conformen el GNSS degut a que millora el posicionament horitzontal i vertical del receptor i dona informació sobre la qualitat de la senyal. Tots els sistemes que formen part del SBAS són de caràcter diferencial, treballen de la mateixa forma que ho fa un GPS Diferencial o DGPS. A més, són compatibles amb qualsevol sistema GNSS dins del seu rang d'actuació, és a dir, que el servei que es doni com a DGPS ha de coincidir amb la mateixa regió on els satèl·lits GNSS siguin visibles [72, 73].

Actualment donen servei el WAAS o Wide Area Augmentation System, gestionat pel Departament de Defensa dels Estats Units; el EGNOS o European Geostationary Navigation Overlay Service administrat per l'Agència Espacial Europea, que millora el posicionament del GPS i del Galileo, i per tant és compatible amb els GNSS; i el MSAS o Multi-Functional Satellite Augmentation System, operat per Japó i que complementa el GPS fent que l'error disminueixi fins als dos metres.

N'hi ha d'altres en fase de desenvolupament com el GAGAN o GPS and GEO Augmented Navigation, gestionat per la Índia i que complementarà el GPS fent que l'error d'aquest

assoleixi no més dels dos metres i mig; el Japonès anomenat QZSS o Quasi-Zenith Satellite System; el StarFire desenvolupat per l'empresa John Deere; el Xinès anomenat SNAS; el Llatinoamericà SACCSA; i el Rus anomenat SDCM desenvolupat per complementar el GLONASS [74].

Tots aquests sistemes milloren el posicionament dels sistemes GNSS, però ho fan dins del seu propi rang d'actuació, és a dir, actuen sobre la geolocalització del país implicat en cada SBAS.

3.5.6 GEOLOCALITZACIÓ PER TELEFONIA MÒBIL:

La geolocalització per telefonia mòbil és una més de les formes que hi ha per conèixer les coordenades d'un objecte. Aquest sistema es basa en dues tecnologies de telefonia mòbil diferents, la CDMA o Accés Múltiple per Divisió de Codi, i la GSM o Sistema Global per a Mòbils. Tant una com l'altre no utilitzen senyals per satèl·lit per posicionar, sinó que s'abasteixen per torres o antenes posicionades per tota la geografia de la terra i per tant, es necessita de cobertura de mòbil per a funcionar correctament [75, 76, 77, 78].

Hi ha tres factors principals que influeixen en la precisió d'aquest mètode fent que el marge d'error pugui arribar fins als 200 metres en àrees urbanes, fins a dos kilòmetres en àrees interurbanes i entre tres i quatre kilòmetres en zones rurals. Aquests són la distància amb les torres o antenes, el temps que triga la senyal en anar de torre en torre i la força que pot tenir aquesta senyal o ona de ràdio.

Per una banda positiva, aquests estàndards anomenats CDMA i GSM es troben presents en 159 països, on cada sistema abasteix a un grup fent així que el total de països sigui el número especificat.

3.6 ESTUDI DE MERCAT: EMPRESES I SISTEMES DE TELEMETRIA:

La finalitat d'aquest apartat és mostrar els sistemes implementats per altres empreses que es dediquen a la telemetria en les competicions automobilístiques i de Ral·lis. La realització d'un petit estudi de les companyies i dels seus sistemes ens ajudarà a encaminar el projecte valorant quins són els sistemes existents i si és possible millorar-los, o bé buscar altres vies per a l'adquisició de les dades de posicionament i cronometratge.

Per altra banda, l'exposició de dita informació reforçarà l'afirmació feta en el capítol número 3.2, «*Normativa dels Ral·lis*», en que es manifesta que la telemetria d'acord a l'obtenció de la posició dels vehicles per part de la federació, i en determinats moments pels equips, sí està permesa i que també ho està el desenvolupament de nous mètodes per a aquest fi.

En el mercat hi ha una àmplia oferta d'empreses que presenten els seus sistemes de cronometratge i/o dispositius per a la seva utilització en competicions automobilístiques. Algunes d'elles també proporcionen els seus serveis en altres tipus de campionats fora d'aquest àmbit, com per exemple maratons, degut a la versatilitat dels seus productes.

És així doncs com en primer lloc s'hi exposen empreses que comercialitzen transpondedors passius, dels quals poden tenir un abast de fins a 10 metres. N'hi ha bàsicament de 5 tipus: Dorsals amb xip integrat per a enganxar a la porta del vehicle per un preu al voltant d'un euro i mig; plaques per a bicicletes amb preu aproximat de dos euros; transpondedors amb separadors de goma-espuma per a enganxar darrere dels dorsals dels corredors o *runners* o en els cascs per un preu aproximat de un euro; dorsals per a ser enganxats a les sabates esportives per a un preu de un euro i mig; polseres a dos euros; i les mateixes solucions però reutilitzables [79].

En segon es mostren les empreses que no només comercialitzen amb els dispositius presentats, sinó que ja presenten sistemes més complets de telemetria. Els seus productes

tenen un cost de tres-cents a mil cinc-cents euros aproximadament per vehicle, depenent de les seves característiques i funcionalitats. Els serveis més comuns i barats són els que ens ofereixen un servei de GPS o de RFID sol, una combinació de GPS amb RFID, o per exemple GPS amb GLONASS. Cal considerar que aquests productes no compten amb el *software* de gestió ni el *data logger* o quadre de control, i que a vegades tenen característiques limitades, encara que algun d'ells incorpora càmera de vídeo o a vegades displays de cronometratge o sistema USB per emmagatzemar les dades recollides. La freqüència de transmissió de dades sol ser entre 10 i 20 Hz, amb un abast d'entre 2 i 10 metres.

Convé destacar les empreses independents que realitzen els seus sistemes de cronometratge i telemetria, ja són útils per equiparar el projecte presentat, però existeixen altres serveis i sistemes molt més cars i complexos que no es comercialitzen. És el cas dels sistemes proporcionats per la Federació Internacional d'Automobilisme, els quals són propis de cada competició. En la formula 1 per exemple, s'arriben a fer telemàticament fins a 150.000 mesures per volta, i la velocitat de transmissió és de 1,5 GHz de mitjana. Ara bé, només el *software* de telemetria costa 100.000 euros, i el sistema complet per l'ordre de 150.000 euros per vehicle [80, 81].

Per altra banda, existeixen diferents empreses que s'encarreguen del cronometratge de competicions per mitjà de l'ús d'un *transponder*, i normalment ofereixen un servei anual, bianual o de cinc anys per a sistema (un *transponder*, una antena i un descodificador) per a un preu mig de 150€ a 350€ segons la necessitat del client. Cal considerar, però, que en una competició automobilística hi participen molts vehicles, i el preu s'ha de multiplicar per el nombre de concursants i afegir-li el cost d'instal·lació, *software* de gestió i dispositius d'interfície com pantalles i/o indicadors. En aquest cas es parla de *transponders* actius, pel que el seu abast és de kilòmetres i el temps de resolució és al voltant de 0,003 segons [82, 83, 84, 85]. En el cas del GPS, la precisió de velocitat és de 0,2 km/h [86].

Finalment es presenta el sistema més complert del mercat realitzat per una empresa, el Race Capture. Aquest fa ús del Multi-GNSS incorporant així els sistemes de geolocalització GPS, Glonass, BeiDoi i Galileo. L'empresa proporciona al client no només els dispositius,

sinó també el *software*, el quadre de control, connexió Wi-Fi i Bluetooth, amb suport a les plataformes Windows / OSX / Android i iOS, 9 canals analògics i 3 de digitals, temps de volta predictiu, cronometratge punt a punt, targeta SD i entrada USB, i una velocitat de transmissió de dades al voltant de 50Hz. El preu del dispositiu amb totes les característiques i funcionalitats esmentades és de 1016 euros [87].

Per últim recordar que la finalitat del projecte és realitzar un sistema de telemetria en competicions de Ral·lis, que permeti a l'organització identificar el posicionament del vehicle escollit per tal d'obtenir una traçabilitat d'aquest, i evitar i informar-se d'incidents. Les empreses presentades, com s'ha explicat, donen els seus serveis a molts tipus de competicions esportives, i en el cas de les automobilístiques, solen ser en circuits tancats degut a que hi ha companyies que proporcionen el mapa del traçat de la pista. En el cas dels Ral·lis, sabem per la normativa que la telemetria a temps real està prohibida pels equips, és per això que aquest sistemes no podrien ser utilitzats pels competidors, però si per la Federació per a la fi esmentada.

S'han mostrat les companyies que es troben en el mercat i els seus productes, però per a propòsit del projecte, només es fan un estudi d'aquestes per veure quins productes i sistemes existeixen, per posteriorment implementar un amb l'objectiu de ser més eficient, efectiu i precís a ser possible.

4. SISTEMES DE TELEMETRIA POSSIBLES I PROPOSTA A IMPLEMENTAR

Decidir un sistema de posicionament i cronometratge és l'últim pas de la part teòrica del Treball de Fi de Grau. Per poder determinar quin serà el sistema a implementar de forma pràctica, es presentaran primerament diferents solucions, sistemes o conjunts de sistemes ja vistos en capítols anteriors. Això ajudarà a veure quines són els possibles projectes de posicionament i cronometratge que es poden implementar, i a escollir el més adient respecte a diferents paràmetres com poden ser el cost econòmic, la rapidesa en transmetre les dades, la magnitud de la infraestructura, la distància efectiva amb la que es pot treballar, entre altres.

Tal i com s'ha explicat, en les competicions de ral·lis es porta un control de la ubicació i del temps que està realitzant el cotxe de forma manual, amb l'ajut d'un cronòmetre i unes cèl·lules fotovoltaïques ubicades a sortida i meta per determinar quan el vehicle inicia el recorregut del tram i quan el finalitza. En les competències amb més recursos econòmics, s'hi afegeixen mòduls GPS i/o Tripmasters, i fins i tot, en les categories mundials es fan servir transpondedors i un sistema de comunicació complex per enviar les dades des del vehicle a un control central on es tracten i es fa el monitoratge. Cal puntualitzar primerament que els dispositius que permeten obtenir les dades referents a la geolocalització no són cars, n'hi ha de preus molt variats, però el que encareix enormement el projecte és la instauració d'un sistema o xarxa de comunicacions per a que es transmeti la informació de cada vehicle cap a una central. És aquí on radica la diferència entre competicions amb recursos econòmics i les que no en tenen.

És per els casos on les curses no disposin de tot aquest sistema complex de GPS, Tripmaster i transpondedor, que es vol fer una proposta d'implementació d'un nou sistema de control de posició i cronometratge més econòmic i viable. Actualment també es

determina si el vehicle ha passat per determinats punts del tram manualment en els controls de tram. Tot això es pretén automatitzar de forma que en qualsevol moment i en benefici a l'organització del certamen, es pugui saber el temps realitzat per cada dorsal i la posició on es troba a temps real per motius de competició i sobretot per a la seguretat dels pilots davant de possibles incidents. Tot i així, a causa de l'augment de l'extensió i la dificultat del projecte que suposaria implementar un sistema de comunicacions, aquest només quedarà plantejat breument en aquest capítol per mostrar quines possibles solucions telemètriques en el caire de la posició i el cronometratge hi ha.

Una de les opcions per automatitzar tot el procés d'obtenció d'aquestes dades és implementar un sistema en cada control de pas on es capti quan els vehicles han passat per aquest punt en concret, i s'adquireixi el número de dorsal o identificador del cotxe competidor i el temps en que ha passat. D'aquesta forma es pot saber la posició relativa de cada vehicle i quan ha passat per cada punt, sent així que es pugui facilitar el temps que ha realitzat en recórrer d'un control al següent. La implementació es pot realitzar de diferents maneres: la primera seria instal·lant un sistema RFID o RFID passiu en el control de pas. Aquest sistema pot no ser el més adient ja que les etiquetes RFID presenten dos problemes, són d'abast limitat, màxim es poden detectar a 10 metres, i l'altre és que no s'assegura el correcte funcionament detectant objectes a altes velocitats. Tot i així és un sistema molt econòmic ja que ronda a l'euro cada xip, però s'hauria d'implementar un sistema de comunicacions per transmetre les dades a una central. En les competicions atlètiques es fa un ús de RFID més GPS ja que ajuda a precisar molt millor la ubicació i el temps dels competidors. Podria ser un bon sistema a utilitzar ja que els mòduls GPS valen al voltant de 20 euros, considerant que no es munta una xarxa de comunicacions.

La segona es podria realitzar implementant en aquest cas un transpondedor o RFID actiu en cada vehicle ja que tenen abast de kilòmetres i la senyal emesa pot ser captada a una velocitat de fins a 360 km/h. Tot i així és un sistema car degut a que es necessita d'una antena i ubicar un descodificador en el control de pas. El preu d'aquesta implementació és encara més elevat, al voltant dels 300 euros per vehicle tal i com s'ha comentat en el capítol número 3.2, «*Normativa dels Ral·lis*». Hi ha diferents empreses que per aquest preu instal·len tots els dispositius necessaris i donen servei amb un software de

comunicació que tracta totes les dades rebudes. Aquest sistema és bo per a les competicions de ral·lis, però és massa car com per a que pugi ser utilitzat en categories inferiors a la mundial.

Un altre possible solució però no gaire adient per a competicions de cotxes, sinó per només determinar la ubicació d'un objecte és utilitzar Bluetooth. És un sistema molt barat, però poc precís, amb un abast màxim de 10 metres, triga en fer connexió amb el dispositiu receptor i la transmissió de dades és lenta. A més, no hi ha confidencialitat en les dades ja que poden ser vistes per tots els dispositius que estiguin dins del rang d'abast del Bluetooth i de la mateixa forma que amb els sistemes RFID i transpondedors s'hauria d'implementar una xarxa de comunicacions.

Una possible solució a la infraestructura de comunicacions que acompanyaria al sistema escollit a implementar, però que aquesta no es realitzaria sinó que queda només plantejada, podria ser l'ús d'una xarxa WiFi o una LoRa WAN. La transmissió de les dades seria suficientment ràpida i eficient, però cal tenir en compte que es precisarien de enrutadors, repetidors, i que la cobertura es pot veure afectada per agents físics com arbres i infraestructures on s'ubiqui.

Respecte a l'obtenció de la posició i el cronometratge dels vehicles, l'ús de sistemes GNSS també pot ser vàlid. Actualment es pot treballar amb molts sistemes de geolocalització diferents al GPS o fins i tot fer que tots ells cooperin per a la mateixa finalitat. Una possible opció si es té en compte que no es realitzarà la infraestructura de comunicacions, seria utilitzar un mòdul GPS conjuntament amb un GNSS. El preu d'aquests mòduls no supera els 50 euros, i es poden trobar que implementin el sistema GPS més el GLONASS, el GPS més el Galileo, que se li afegixi el Beidou, que implementi tots en un sol mòdul, i qualsevol combinació entre ells i amb altres sistemes de geolocalització. A part, també hi ha mòduls que incorporen GPS diferencials o DGPS i/o que també contenen sistemes d'augmentació SBAS.

Si a tot això se li suma un dels altres sistemes explicats com fer una doble comprovació amb un transpondedor, o un RFID, o per detecció fotovoltaica, per WiFi o LoRa WAN, etc.,

es pot obtenir un sistema molt precís. El preu però dependrà de la combinació realitzada. El sistema que s'implementarà és resultat d'una combinació de diferents d'aquests. S'utilitzarà un mòdul GNSS anomenat GNSS 5 amb microprocessador NEO M8N de l'empresa Mikroe connectat a un Arduino DUE que alimentarà al mòdul i processarà i enviarà les dades rebudes per aquest a un ordinador. El preu de l'Arduino DUE és aproximat a 35 euros, i sabent que el mòdul fa ús dels sistemes de geolocalització GPS, GLONASS, Galileo, Beidou, del sistema de augmentació SBAS que suporta els sistemes d'augmentació GAGAN, WAAS, EGNOS, i MSAS, del sistema d'augmentació QZSS i d'un GPS diferencial, fa que l'ús d'aquest mòdul i la implementació del sistema que s'està plantejant sigui molt adient tant pel caire econòmic, com també per l'eficiència del sistema i la precisió i fiabilitat d'aquest.

A més, es determinaran punts de coordenades on es suposarà que hi ha controls de tram. D'aquesta forma es farà que quan el vehicle amb el sistema implementat passi per aquests punts, es faci una doble comprovació de la posició on es troba. La primera gràcies al propi sistema de geolocalització del mòdul, i la segona comprovant que les coordenades que dona el dispositiu diguin les mateixes que tenen els controls. Amb això també es podrà saber el temps de pas per a cada punt i per tant quant ha trigat el vehicle en recórrer la distància entre controls i des del punt de sortida al de meta. L'esquemàtica del sistema es mostrarà en el capítol número 5, «*Estat de l'art del sistema escollit*» quan es comenti com es realitzarà el muntatge de la part pràctica del projecte.

El conjunt del mòdul amb la comprovació per coordenades i l'ús d'un Arduino DUE per tractar les dades, dota la proposta de ser viable, econòmica, eficient i el sistema de fiabilitat i precisió. És per tots aquests motius que el sistema que s'implementarà de forma pràctica pel Treball de Final de Grau és aquest últim plantejat.

5. ESTAT DE L'ART DEL SISTEMA DE TELEMETRIA ESCOLLIT

La implementació pràctica del sistema de telemetria referent al posicionament i al cronometratge de vehicles en competicions de ral·lis és l'últim pas del Treball de Final de Grau. A continuació es mostra el muntatge dels dispositius emprats, el codi de programació utilitzat i els resultats obtinguts.

Com s'ha explicat en el capítol anterior, per a la realització pràctica del sistema escollit es necessiten principalment dos dispositius: un mòdul GNSS 5 click amb microprocessador NEO-M8N de Mikroe, amb el que rebre la informació de la posició i el temps, i altra informació, per satèl·lit mitjançant l'ús d'una antena; i un Arduino DUE per recollir les dades i tractar-les segons les especificacions del projecte. L'antena utilitzada per a la recepció de les dades és la ANT-GPS-P20-SMA a la que se li ha d'afegir un cable USB a micro USB per connectar l'Arduino a l'ordinador, i uns cables de pont mascle a femella per Arduino per a connectar-lo amb el mòdul GNSS. Tot seguit es mostren unes imatges dels dispositius i de les connexions realitzades:



Figura 15: Mòdul GNSS [88].

Figura 16: Arduino DUE [89].

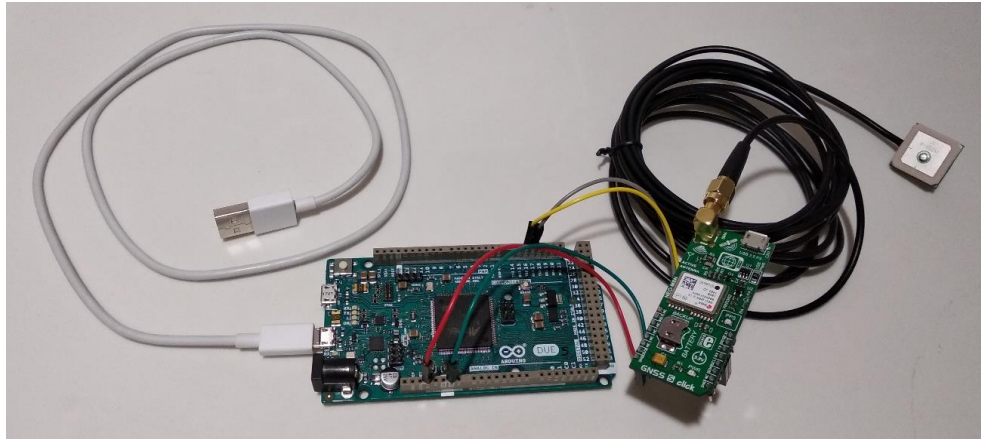


Figura 17: Connexionat dels components.

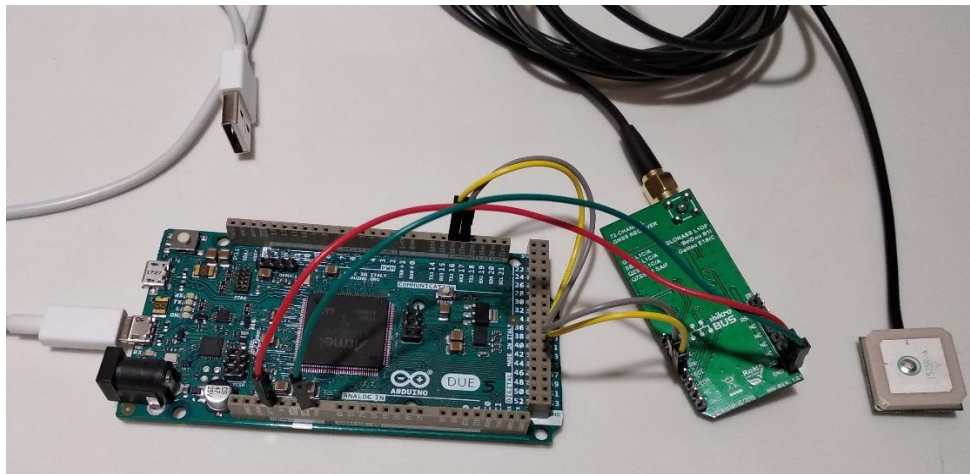


Figura 18: Connexionat dels components amb el mòdul girat.

L'esquemàtica de connexions és la següent:

Es connecta la antena al mòdul GNSS mitjançant el connector SMA. L'Arduino es connecta a l'ordinador utilitzant el cable USB a Micro USB, i el mòdul es connecta a l'Arduino per mitjà dels pins que disposen. El pin d'alimentació de 3,3V de l'Arduino es connecta al pin de mateix valor del mòdul, i de la mateixa forma el pin de *Ground* GND és connectat. Ara bé, el pin tx de comunicació sèrie Serial2 de l'Arduino es connecta amb l'únic pin de comunicació sèrie rx del mòdul i de la mateixa manera, el pin rx de comunicació sèrie Serial2 de l'Arduino es connecta amb el pin de comunicació sèrie tx del mòdul. Les connexions queden il·lustrades en la imatge següent:

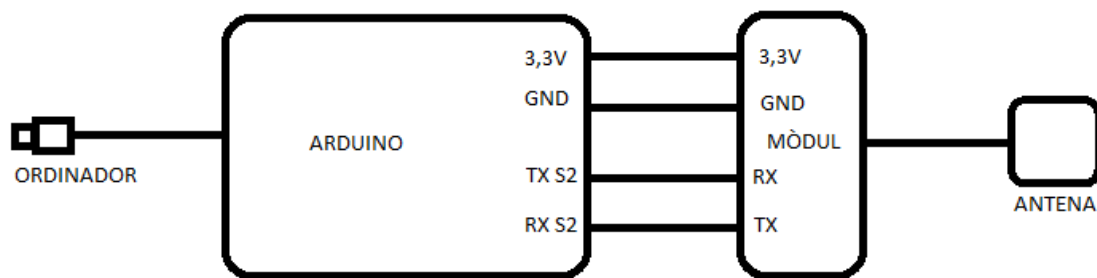


Figura 19: Esquema del connexionat dels components.

El pins de comunicació sèrie emprats són referents al Serial2 de l'Arduino a raó que si s'utilitzen els pins Serial d'aquest (disponibles quatre parells de pins Serial en l'Arduino, tx i rx, del Serial al Serial3) no es pot efectuar la comunicació sèrie amb l'ordinador. És a dir, per connectar qualsevol dispositiu a l'ordinador per port USB s'utilitza els pins de comunicació sèrie tx i rx de l'ordinador. Quan es connecten tots els dispositius mostrats i es comencen a rebre dades per l'antena, aquests dos pins són ocupats pel mòdul GNSS impossibilitant la comunicació ordinador-Arduino. És per això, i que ja queda reflectit en el codi de programa, que es van canviar els pins de comunicació de l'Arduino amb el mòdul utilitzant finalment els referents al Serial2.

Abans de continuar amb el desenvolupament de la part pràctica, s'explica a continuació a grans trets què és la comunicació sèrie per a que es pugui comprendre aquest concepte:

La comunicació sèrie o seqüencial és el procés pel qual s'envia la informació en forma de bits per un canal de comunicació o bus [90].

El port sèrie és la interfície física que permet la comunicació entre dos dispositius. Mitjançant dos connectors denominats RX per a la recepció, i TX per a la transmissió, el port sèrie envia la informació en seqüències o paquets de bits.

Juntament amb el port sèrie, existeix el port paral·lel, el qual necessita de múltiples canals per a poder enviar la informació requerida [91]. Això és degut a que els bits de comunicació s'envien al mateix temps, i es necessita doncs tenir tantes línies o canals de comunicació com bits tingui la informació a transmetre [92]. Com la

plataforma Arduino s'ajuda del port sèrie per a comunicar-se, és aquesta la que s'estarà exposant en aquest punt.

Existeixen gran varietat de ports sèrie, uns quants exemples en serien el USB, el RS-232, el RS-485, el I2C, el SPI, Serial Ata, Pcie Express, Ethernet o FireWire, entre altres. La unitat que incorporen alguns processadors encarregada de realitzar la conversió de les dades en una seqüència de bits i transmetre'ls o rebre'ls a una certa velocitat se li denomina UART [93].

Per a realitzar la comunicació de tipus serial es necessita que la informació estigui en format ASCII i disposar tres línies o canals de transmissió els quals són el terra, un canal per transmetre, i un per rebre. La comunicació serial es duu de forma asíncrona, el que permet que es puguin rebre dades mentre se'n envien d'altres i viceversa.

La velocitat de transmissió o *baud rate* indica el nombre de bits que es transmeten per segon. La mesura es duu a terme en bauds, pel que determinat nombre de bits enviat per segon correspon al mateix nombre de bauds. El nombre de bits que s'envien per paquet varia de cinc a vuit, i ve determinat pel tipus d'informació que es transmet. Per a la transmissió de la informació en ASCII se'n utilitzen entre set i vuit bits que fan referència al rang d'aquest, entre 0 i 127 o 0 i 255. Un paquet però fa ús d'un byte ja que inclou els bits d'inici i de parada de la trama, els bits de dades i el de paritat que indica quin tipus de paritat hi ha per posteriorment determinar l'existència o no d'errors en la transmissió serial [94].

El mòdul GNSS utilitzat treballa d'acord amb el seu *Data Sheet* de la següent forma [95]:

- Baud rate de 9600 (configurable de 4800 a 115200).
- Voltatge d'alimentació de 3,3 a 5 Volts.
- Corrent d'operació de 45mA.
- L'actualització de les dades s'efectua a 5Hz com a màxim i per defecte a 1Hz. Això vol dir que el mòdul proporcionarà cada 200ms dades noves sent així la màxima velocitat que pugui assumir, però que per defecte ho farà cada 1s. En el codi implementat no s'optimitza la velocitat de les dades, i per tant es rep informació nova cada segon. Tot i així en un segon es reben 5 paquets de dades on es mostra la mateixa informació, sent així que el primer paquet rebut sigui l'important ja que se'n rebran quatre més de repetits. La velocitat màxima establerta d'actualització de les dades per aquest projecte és d'un segon.
- El mòdul és capaç de funcionar a temperatures d'entre -40°C i 85°C i ser funcional abans de transcorreguts 30 segons.
- La precisió de la velocitat del mòdul és de 0,05 m/s o altrament dit de 0,18 km/h. Es diu també en el *Data Sheet* que a una velocitat de 30 m/s aquesta precisió disminueix un 50%. Es calcula doncs la velocitat i l'error que comporta:

$$30 \frac{m}{s} \times \frac{1 km}{1000 m} \times \frac{60 s}{1 min} \times \frac{60 min}{1 h} = 108 km/h$$

La velocitat a la que la precisió disminueix un 50% és 108 km/h. Si la precisió a velocitats menors és de 0,05 m/s i a una velocitat de 108 km/h disminueix a la meitat, la precisió final que s'obté a una velocitat de 108 km/h és de 0,1 m/s. Es calcula ara el màxim error de velocitat que es pot obtenir amb aquestes especificacions:

$$0,1 \frac{m}{s} \times \frac{1 km}{1000 m} \times \frac{3600 s}{1 h} = 0,36 km/h$$

El màxim error de velocitat que es pot donar a una velocitat de 108 km/h és de 0,36 km/h.

Per a la programació del codi utilitzat en la part pràctica s'ha emprat una llibreria ja existent anomenada Arduino Parser Ublox Neo M8N [96]. En ella s'implementa tot el codi referent a l'obtenció de dades dels satèl·lits dels diferents sistemes de geolocalització que utilitza. En el capítol anterior número 4 anomenat <<Sistemes de telemetria possibles i proposta a implementar>> s'explica els diferents sistemes de geolocalització, d'augmentació i GPS diferencial que el mòdul utilitza.

A més i de forma optativa, es pot instal·lar el software U-Center [97] desenvolupat per l'empresa Ublox propietària del mòdul, que permet accedir a més funcionalitats d'aquest i a monitoritzar les dades gràcies a la interfície que usa. A continuació es mostra una imatge de l'aparença del software:

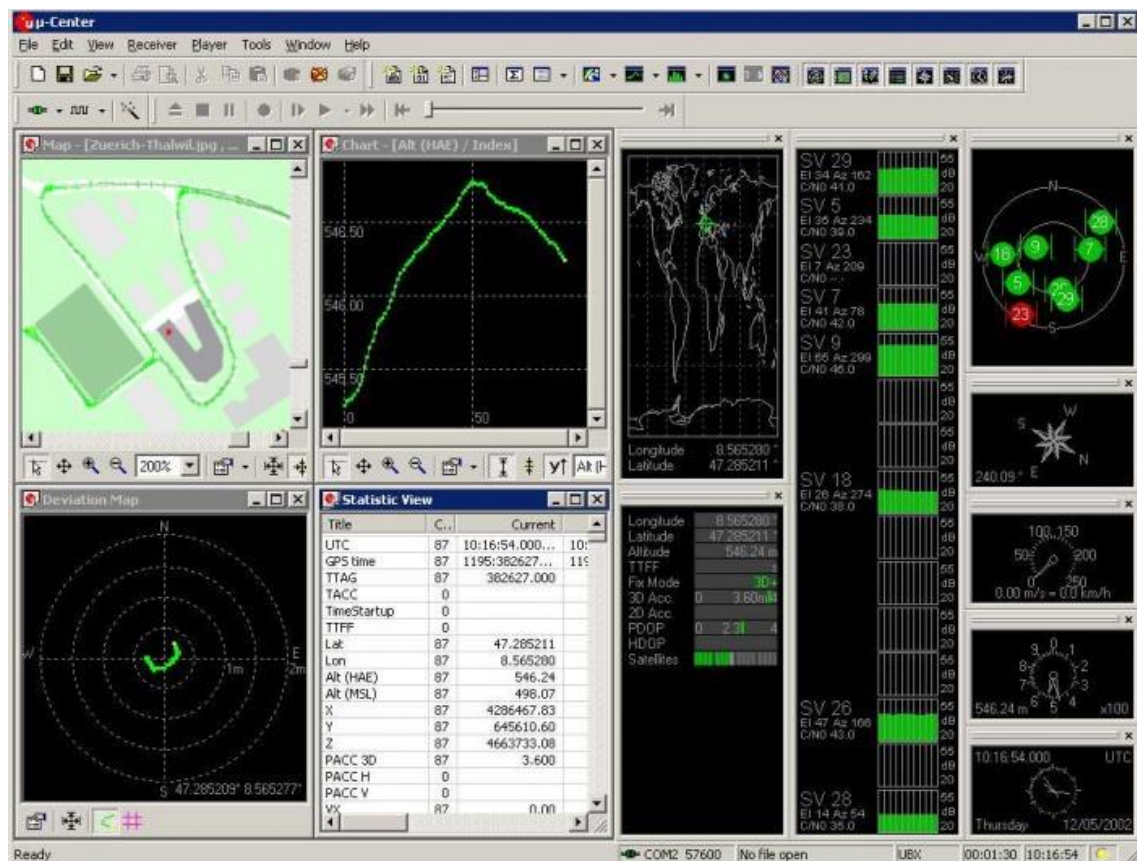


Figura 20: Software U-center [98].

S'ha treballat sobre el codi original de la llibreria per implementar les diferents funcionalitats que s'explicaran seguidament. El codi original o llibreria utilitzada queda adjuntat en l'Annex, on s'hi ubiquen els arxius amb extensió .ino, .cpp i .h, i de la mateixa forma s'adjunta el codi modificat durant la realització del projecte.

La llibreria conjuntament amb el mòdul implementen moltes funcionalitats diferents, en el cas del projecte només es precisa de l'obtenció de la informació referent a la posició o coordenades, i la referent al temps o hora actual.

Gràcies a aquests paràmetres es desenvolupen per al projecte les següents funcionalitats:

- Es comprova que hi hagi satèl·lits visibles i es mostra quants n'hi ha de disponibles.
- Es mostra la posició actual per coordenades en forma de altitud, latitud i longitud amb una precisió de fins a milionèsimes.
- Es determinen dos punts de control que serien els controls de pas. Mitjançant això, el mòdul determina si s'hi troba en les coordenades especificades i mostra per pantalla un missatge en el que s'expressa si ha passat pel control, per quin control ha passat i a quina hora ho ha fet. Es proporciona un marge d'error per a la detecció i comprovació de les coordenades de vint centmil·lèsimes ja que amb una precisió tant acurada és difícil que les coordenades coincideixin fins a la milionèsima xifra i més si el vehicle està corrent.

A continuació es mostren dues captures de pantalla on es veu la informació experimental obtinguda tal i com s'ha explicat, i uns exemples en els que el dispositiu GNSS passa pels dos controls de tram fixats.

```
COM3 (Arduino Due (Programming Port))

Posició actual (altitud-latitud-longitud) i satèl·lits visibles:
0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
Tenim 0 satèl·lits en ús

Posició actual (altitud-latitud-longitud) i satèl·lits visibles:
0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
Tenim 0 satèl·lits en ús

Posició actual (altitud-latitud-longitud) i satèl·lits visibles:
0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
Tenim 0 satèl·lits en ús

Posició actual (altitud-latitud-longitud) i satèl·lits visibles:
353.299988 41.576180 2.019259 12.000000
Tenim 12 satèl·lits en ús
S'ha passat pel control 1 en l'instant (hora-minut-segon): 15.00 15.00 7.00

Posició actual (altitud-latitud-longitud) i satèl·lits visibles:
353.299988 41.576180 2.019259 12.000000
Tenim 12 satèl·lits en ús

Posició actual (altitud-latitud-longitud) i satèl·lits visibles:
353.299988 41.576180 2.019259 12.000000
Tenim 12 satèl·lits en ús

Autoscroll  Mostrar marca temporal  Nueva línea  115200 baudio  Limpiar salida
```

Figura 21: Dades experimentals amb ubicació del control 1.

```
COM3 (Arduino Due (Programming Port))

Posició actual (altitud-latitud-longitud) i satèl·lits visibles:
351.299988 41.576157 2.019389 12.000000
Tenim 12 satèl·lits en ús

Posició actual (altitud-latitud-longitud) i satèl·lits visibles:
351.299988 41.576157 2.019389 12.000000
Tenim 12 satèl·lits en ús

Posició actual (altitud-latitud-longitud) i satèl·lits visibles:
351.299988 41.576157 2.019389 12.000000
Tenim 12 satèl·lits en ús

Posició actual (altitud-latitud-longitud) i satèl·lits visibles:
350.799988 41.576157 2.019406 12.000000
Tenim 12 satèl·lits en ús
S'ha passat pel control 2 en l'instant (hora-minut-segon): 15.00 15.00 52.00

Posició actual (altitud-latitud-longitud) i satèl·lits visibles:
350.799988 41.576157 2.019406 12.000000
Tenim 12 satèl·lits en ús

Posició actual (altitud-latitud-longitud) i satèl·lits visibles:
350.799988 41.576157 2.019406 12.000000
Tenim 12 satèl·lits en ús

Autoscroll  Mostrar marca temporal  Nueva línea  115200 baudio  Limpiar salida
```

Figura 22: Dades experimentals amb ubicació del control 2.

Així doncs es pot dir que l'objectiu del projecte de realitzar un sistema de telemetria referent al posicionament i el cronometratge de cotxes en competicions de ral·lis s'ha aconseguit amb la implementació del mòdul GNSS presentat. Tot i així, cal remarcar que la velocitat en que s'obtenen noves dades de posicionament és de 1 segon, i que es podria millorar als 200ms per poder equiparar aquest sistema a altres ja existents en el mercat en aquest aspecte. Per altra banda, s'ha aconseguit determinar una precisió molt acurada que arriba a la milionèsima dècima, fent que aquest sistema sigui molt més precís que d'altres existents que només arriben a la centèsima, i que el propi sistema de telemetria emprat actualment en les competicions de Ral·lis. A més, l'error de velocitat també és menor a la del GPS ja que el GPS presenta un error de 0,2 km/h i el mòdul de 0,18 km/h.

6. PRESSUPOST

A continuació es presenta el cost del projecte tenint en consideració el preu dels components emprats en la realització pràctica del projecte.

Descripció del producte	Quantitat	Preu unitat (€)	Subtotal (€)
Arduino DUE	1	35,5	35,5
GNSS 5 click NEO-M8N	1	58,1	93,6
Paquet de 40 cables de pont mascle a femella per Arduino	1	1	94,6
Cable USB a micro USB	1	5,65	100,25
Antena GPS ANT-GPS-P20-SMA	1	19,21	119,46
TOTAL			119,46

El cost total del projecte és de: 119,46 €

7. CONCLUSIONS

El present Treball de Final de Grau ha mostrat un estudi i implementació d'un sistema d'adquisició de posicionament i cronometratge per a competicions de ral·lis. Per a benefici de la pròpia organització de l'esdeveniment i per a la Federació Internacional de l'Automobilisme es pretenia trobar una via en la que els vehicles fossin contínuament rastrejats. Un dels motius pels que es va decidir desenvolupar aquest projecte era per obtenir les dades referents a la ubicació i al temps que realitzen en la competició d'una manera molt més precisa, eficient i econòmica respecte al sistema que actualment es fa servir. Depenent de la categoria de ral·lis, es disposen de més recursos econòmics per a la realització de la competència, fent així que només poques d'elles, com per exemple les de caire mundial, disposin d'un sistema de geolocalització i cronometratge per GPS, transpondedor i/o *Tripmaster*. En totes les altres categories els únics punts automatitzats electrònicament d'on es reben dades referents a la posició del dorsal són la sortida i la meta, mitjançant l'ús de cronometradors i de cèl·lules fotovoltaïques. Durant tots els trams de la competició, però, la comprovació de que el vehicle ha passat per cada control de tram es fa de forma manual. És per això que es decideix implementar aquest nou sistema per motius, no només competitius, sinó que també per factors de seguretat on el moviment del pilot quedi registrat per contínuament per tal d'evitar i/o conèixer situacions de risc que es poden presentar en el certamen, com per exemple avaries del cotxe en mig del tram, caigudes per barrancs, etc.

L'objectiu del projecte doncs era realitzar un estudi i posterior implementació d'un sistema considerant diferents factors com el cost econòmic, ja que determina si en l'esdeveniment es farà servir o no un sistema d'aquesta magnitud, la fiabilitat del producte, la precisió d'aquest i l'eficiència que presenta i que es compara amb el sistema actualment utilitzat en aquestes competicions. Per a determinar quin sistema era el més adient i que complís amb totes aquestes especificacions, es va dur a terme un pla d'estudis en el que primer s'estudiava la normativa vigent per a aquestes competències amb finalitat de no entrar en

conflicte amb cap clàusula establerta. Posteriorment es va elaborar un petit estudi de les competicions de ral·lis per conèixer i ambientar el treball; un altre estudi de conceptes de telemetria; un estudi de com és i com es realitza la telemetria en diferents competicions esportives per tal de conèixer i poder comparar diferents sistemes de geolocalització i cronometratge; un estudi també de dispositius i sistemes en aquest camp per saber quins existeixen; i finalment un estudi de mercat on l'objectiu era determinar quines empreses actualment estan donant un servei similar, com ho desenvolupen, i quins sistemes o dispositius fan servir.

Gràcies a tots aquests passos previs es van establir diferents sistemes per a la localització i cronometratge en competicions de ral·lis, que d'acord amb els objectius establerts, es va escollir una sola proposta. Aquesta queda desenvolupada tant teòricament com de forma pràctica en la memòria, i mostra una solució al problema presentat en la que es fa servir un dispositiu GNSS i una doble comparació de posició determinant punts de control. Mitjançant el mòdul GNSS 5 click amb microprocessador NEO M8N i un Arduino DUE, s'obtenen dades referents a la posició i al cronometratge cada segon i amb una precisió de milionèsimes mentre que en el sistema actualment utilitzat en els ral·lis la precisió només és de mil·lèsimes. Tot i així, cal dir que el refresc de la informació es pot millorar a 200ms per tal d'equiparar-ho amb altres sistemes desenvolupats que es poden trobar al mercat, però caldria implementar-ho en el codi de programació, i igualment ja és equiparable al sistema que es fa servir actualment als ral·lis. Per altra banda, l'error de velocitat és menor al del GPS utilitzat en les actuals competicions, ja que aquest és de 0,18 km/h mentre que el del GPS és de 0,2 km/h. A més, a una velocitat de 108 km/h molt similar als 110 km/h de mitja en els que corren els cotxes de ral·lis, la precisió de velocitat disminueix al 50% i per tant és de 0,36 km/h, mentre que la del GPS a aquestes velocitats seria molt pitjor determinant un error fins i tot de desenes de metres.

Conjuntament amb el mòdul, també s'estableixen uns punts de control amb posició coneguda que serveixen per comparar les coordenades rebudes pel dispositiu amb les ja establertes. D'aquesta forma es fa una doble comparació de la posició en la que es troba i per tant és més exacte la determinació tant de la ubicació, com del temps realitzat, ja que s'obté també el temps en que passa per cada control per determinar posteriorment el

temps realitzat al recórrer la distància d'un control a un altre i/o el temps fet en cada tram. Aquesta doble comparació també diferencia al sistema presentat d'una fiabilitat i precisió que el sistema GPS o transpondedor utilitzat actualment en les competicions de ral·lis no té.

Tota la implementació mostrada té un cost total de 119,46 €, molt menor al que costa el sistema actual en els ral·lis. Cal dir però, que s'hauria de considerar o podria ser considerada per un futur Treball de Final de Grau tal i com es mostra en el projecte, una forma en que totes aquestes dades poguessin ser enviades a l'organització de l'esdeveniment tal i com es realitza actualment per poder acabar d'equiparar el projecte presentat amb el sistema vigent en les competicions. Això encariria molt més el preu del projecte ja que s'hauria de instaurar una infraestructura de comunicacions. També, es podria considerar millorar el sistema proposat amb altres dispositius que l'enriqueixin, és a dir, que el facin més precís i que se'n pugui obtenir més informació com per exemple el número de dorsal o identificador del cotxe, el nom del pilot, mostrar advertències a la central en cas de que no es detecti la posició d'un vehicle o que es detecti que va a baixa velocitat o no es mou quan està en un tram, entre altres.

Tot i així, i com a conclusió, el sistema presentat ja és més econòmic, precís i fiable que els sistemes utilitzats actualment en competicions de ral·lis sense tenir en consideració la infraestructura de comunicacions, només la rebuda i tractament de dades referents a la posició i al cronometratge del vehicle. És per això que gràcies al desenvolupament del treball d'una forma planificada, es pot concloure que l'objectiu del projecte s'ha complert satisfactòriament degut a que s'ha respectat i assolit cada un dels objectius determinats al principi del treball.

Finalment i com a conclusions personals m'agradaria afegir que encara que el projecte exposat sigui original, és a dir, una proposta meua, i que partia de coneixements previs gràcies a la meua experiència en competicions automobilístiques, m'ha resultat difícil executar el Treball de Final de Grau. Ha sigut complicat realitzar el projecte conjuntament amb un treball a jornada completa i degut a la poca informació teòrica disponible respecte alguns punts del treball. M'hagués agradat poder profunditzar més en aspectes propis als

valor telemètrics com per exemple velocitat de refresc de dades del Arduino i procediments pràctics per al projecte. Tot i així, estic satisfeta amb el treball desenvolupat ja que s'han assolit satisfactòriament tots els objectius establerts en el termini d'un quadrimestre.

8. POSSIBLES MILLORES AL SISTEMA IMPLEMENTAT I PROPOSTA DE FUTUR TREBALL

El Treball de Fi de Grau presentat mostra un estudi i una posterior implementació d'un sistema de telemetria en relació amb el posicionament i el cronometratge en competicions de ral·lis. El sistema escollit realitza l'adquisició d'aquestes dades mitjançant un mòdul GNSS i el seu posterior tractament i visualització gràcies a un Arduino DUE. A més, es determinen diversos punts o controls amb posició fixa i coneguda per a que quan el mòdul hi passi es faci una comparació de les coordenades i per tant, una doble comprovació de que la ubicació sigui la correcta.

Una possible millora o complementació al projecte que es podria dur a terme en un futur Treball de Final de Grau, seria implementar una xarxa de comunicacions via Wi-Fi o LoRaWAN per transmetre les dades obtingudes a un punt central on es puguin monitoritzar. És a dir, instaurar diferents controls de posició i un cop que el vehicle passi per aquests punts, s'envii tota la informació necessària cap a la central de l'organització. Les dades recollides podrien ser la determinació i comprovació de la posició del cotxe; l'hora, minuts i segons en que ha passat per a cada control; el temps que ha trigat en recórrer la distància d'un control a un altre; el temps realitzat en recórrer un tram o diversos trams com ja pot ser el temps total realitzat en la competició; el número de dorsal o identificador del vehicle; entre altres.

També seria interessant implementar una interfície on es poguessin veure totes aquestes dades de forma ordenada o millorar el sistema desenvolupat afegint-hi un transpondedor, cèl·lules fotovoltaiques en cada control o qualsevol dispositiu o sistema que pugui fer-ho de forma econòmica, precisa i fiable.

Per a la realització d'aquest possible Treball de Final de Grau, es podria procedir de la mateixa forma que s'ha fet en el Treball de Final de Grau presentat. Es faria primerament un estudi complet i detallat dels esmentats sistemes o xarxes de comunicació i dels

dispositius que es podrien emprar, tenint en compte novament la magnitud del projecte, el cost econòmic, la fiabilitat, la precisió, entre altres. L'estudi de la normativa atorgada per la Federació Internacional d'Automobilisme no seria necessari ja que es realitza en aquest document, tot i així, es precisaria d'una revisió en el cas de que algunes clàusules canviessin amb el pas del temps.

Seria recomanable també que en la primera meitat del quadrimestre es realitzés un estudi de mercat en el que s'avaluarien sistemes similars als plantejats per escollir-ne el més adient, i es buscarien referències en altres empreses per poder fer una comparació del projecte amb sistemes ja existents al mercat.

Cara a la segona meitat del quadrimestre, es redactarien diferents possibles propostes que donessin solució al projecte i se'n escolliria una a implementar. Posteriorment es procediria amb la implementació pràctica de la proposta i es redactarien les conclusions, el pressupost i les possibles millores al sistema implementat per a ser considerades en un altre futur Treball de Final de Grau.

9. BIBLIOGRAFIA

La bibliografia presentada està escrita segons la normativa IEEE.

- [1] Wikipedia. (2018, December 12). Rally [Online]. Available:
<https://es.wikipedia.org/wiki/Rally>
- [2] Wikipedia. (2018, June 8). Tramo (rally) [Online]. Available:
[https://es.wikipedia.org/wiki/Tramo_\(rally\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Tramo_(rally))
- [3] Wikipedia. (2018, December 12). Rally [Online]. Available:
<https://es.wikipedia.org/wiki/Rally>
- [4] Wikipedia. (2018, June 8). Tramo (rally) [Online]. Available:
[https://es.wikipedia.org/wiki/Tramo_\(rally\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Tramo_(rally))
- [5] Wikipedia. (2018, December 12). Rally [Online]. Available:
<https://es.wikipedia.org/wiki/Rally>
- [6] World Rally Car (2014, January 14). Glossary S-Z [Online]. Available:
<https://www.wrc.com/es/jwrc/about-junior-wrc/lexicon/glossary-s-z/page/911-1953-905--.html>
- [7] Wikipedia, Jorjum. (2016, November 28). Celulas fotovoltaicas [Online]. Available:
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Celulas_fotovoltaicas_2.jpg
- [8] Rallyes, Noemi Alonso (2017, June 19). Control Horario [Online]. Available:
<https://www.rallyes.net/tag/control-horario/>
- [9] Federació Internacional d'Automobilisme (2017, January). 2018 FIA World Rally Championship. World Rally Championship Sporting Regulations [Online]. Available:
<https://www.fia.com/regulation/category/119>
- [10] Federació Internacional d'Automobilisme (2017, January). 2018 FIA World Rally Championship. World Rally Championship Sporting Regulations [Online]. Available:

<https://www.fia.com/regulation/category/119>

[11] Federació Internacional d'Automobilisme (2017, January). 2018 FIA Regional Rally Championship. Regional Rally Sporting Regulations. [Online]. Available:

<https://www.fia.com/regulation/category/117>

[12] Federació Internacional d'Automobilisme (2017, January). 2018 FIA Regional Rally Championship. Regional Rally Sporting Regulations. [Online]. Available:

<https://www.fia.com/regulation/category/117>

[13] Federació Internacional d'Automobilisme (2017, January). 2018 FIA Regional Rally Championship. Regional Rally Sporting Regulations. Article 254A I 255A [Online].

Available: <https://www.fia.com/regulation/category/117>

[14] Federació Internacional d'Automobilisme (2017, January). 2018 FIA Regional Rally Championship. Regional Rally Sporting Regulations. Article 255 [Online]. Available:

<https://www.fia.com/regulation/category/117>

[15] Youtube. Guillermo García Alfonsín (2018, May 18). Una introducción a la telemetría y los sistemas de adquisición de datos [TÉCNICA - POWERART] S02-E16

[Online]. <https://www.youtube.com/watch?v=16baGIMv8cs&t=1506s>

[16] Wikipedia. Leonid Mamchenkov (2006, September 22). Rally [Online]. Available:

<https://eu.wikipedia.org/wiki/Rally>

[17] F. Carden, R. P. Jedlicka, Dr. R. Henry. *Telemetry Systems Engineering*. Artech House. 2002. Available:

https://books.google.es/books?id=3LK44UI0YCEC&pg=PA1&lpg=PA1&dq=telemetry+systems&source=bl&ots=PfKgC-1nuo&sig=Q5eyGsFMegBg67BaRlyC8-JbX7Y&hl=ca&sa=X&ved=2ahUKEwiO7NCThrXdAhXLBsAKHcBkD_A4ChDoATACegQICBA#v=onepage&q=telemetry%20systems&f=false

[18] Significados (2015, May 12). Significado de telemetria [Online]. Available:

<https://www.significados.com/telemetria/>

[19] Stackify (2017, April 26). What Is Telemetry? How Telemetry Works, Benefits of Telemetry, Challenges, Tutorial, and More [Online]. Available:

<https://stackify.com/telemetry-tutorial/>

- [20] Significados (2015, May 12). Significado de telemetria [Online]. Available: <https://www.significados.com/telemetria/>
- [21] Significados (2015, May 12). Significado de telemetria [Online]. Available: <https://www.significados.com/telemetria/>
- [22] BeracingApp (2017). La importancia de la telemetria [Online]. Available: <http://www.beracingapp.com/blog/la-importancia-la-telemetria/>
- [23] Stackify (2017, April 26). What Is Telemetry? How Telemetry Works, Benefits of Telemetry, Challenges, Tutorial, and More [Online]. Available: <https://stackify.com/telemetry-tutorial/>
- [24] BeracingApp (2017). La importancia de la telemetria [Online]. Available: <http://www.beracingapp.com/blog/la-importancia-la-telemetria/>
- [25] Medium. Chris Lange (2017, September 29). Data Acquisition for Race Cars [Online]. Available: <https://medium.com/daqifi-data-acquisition/data-acquisition-for-race-cars-dc14ff23c7c5>
- [26] Clarin. (2018, April 17). Como un Fórmula 1 [Online]. Available: https://www.clarin.com/autos/funciona-diagnostico-distancia-tiempo-real-autos-caros-mundo_0_SyekxsmhM.html
- [27] Gadgets. Jacobo Vidal. (2010, November 3). La telemetría en la Fórmula 1 [Online]. Available: <http://www.gadgets.com/noticias/telemetria-formula-1/>
- [28] Wordpress. Moises B.M . (2011, July 2). La telemetría de la Fórmula 1 en directo [Online]. Available: <https://moisesbm.wordpress.com/2011/07/02/telemetria-f1-directo/>
- [29] Idea Secundaria. (2012, July 21). La telemetría de F1 destripada [Online]. Available: <https://ideasecundaria.blogspot.com/2012/07/la-telemetria-de-f1-destripada.html>
- [30] Wikipedia. Leonid Mamchenkov (2006, September 22). Rally [Online]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Rally>
- [31] Autodesk. Jeff Kowalsky (2016, January 5). CAD Is a Lie: Generative Design to the Rescue [Online]. Available: <https://www.autodesk.com/redshift/generative-design/>

- [32] McLaren (2019). Powertrain Control Unit [Online]. Available: <https://www.mclaren.com/appliedtechnologies/products/list/#!/electronics/control-units>
- [33] Electronics Weekly. Steve Bush (2012, June 27). Embedded processing at McLaren [Online]. Available: <https://www.electronicsworld.com/market-sectors/embedded-systems/embedded-processing-at-mclaren-2012-06/>
- [34] Gadgetos. Jacobo Vidal. (2010, November 3). La telemetría en la Fórmula 1 [Online]. Available: <http://www.gadgetos.com/noticias/telemetria-formula-1/>
- [35] Idea Secundaria. (2012, July 21). La telemetría de F1 destripada [Online]. Available: <https://ideasecundaria.blogspot.com/2012/07/la-telemetria-de-f1-destripada.html>
- [36] Gadgetos. Jacobo Vidal. (2010, November 3). La telemetría en la Fórmula 1 [Online]. Available: <http://www.gadgetos.com/noticias/telemetria-formula-1/>
- [37] Youtube. Guillermo García Alfonsín (2018, May 18). Una introducción a la telemetría y los sistemas de adquisición de datos [TÉCNICA - POWERART] S02-E16 [Online]. <https://www.youtube.com/watch?v=16baGIMv8cs&t=1506s>
- [38] Speed Hive Shop. (2019). MyLaps X2Transponder MX [Online]. Available: <https://speedhiveshop.mylaps.com/mx/x2-transponder-mx.html>
- [39] Analogic Tips. Aimee Kalnoskas. (2017, May 2). How do RFID tags and reader antennas work? [Online]. Available: <https://www.analogictips.com/rfid-tag-and-reader-antennas/>
- [40] Wikipedia. (2018, December 7). Transpondedor [Online]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Transpondedor>
- [41] Sport Solution. (2016). Control de sistemas de cronometraje en ruta. Como funcionan [Online]. Available: <http://www.sportsolution.es/es/blog/40-control-de-sistemas-de-cronometraje-en-ruta-como-funcionan>
- [42] Todo Circuito. (2011, June 17). Cómo funciona un transpondedor [Online]. Available: <https://www.todocircuito.com/reportajes/45-como-funciona-un-transponder.html>

- [43] Wikipedia. (2018, December 12). Transponder [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Transponder>
- [44] Todo Circuito. (2011, June 17). Cómo funciona un transpondedor [Online]. Available: <https://www.todocircuito.com/reportajes/45-como-functiona-un-transponder.html>
- [45] Sport Solution. (2016). Control de sistemas de cronometraje en ruta. Como funcionan [Online]. Available: <http://www.sportsolution.es/es/blog/40-control-de-sistemas-de-cronometraje-en-ruta-como-functionan>
- [46] Wikipedia. (2018, December 12). Transponder [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Transponder>
- [47] Todo Circuito. (2011, June 17). Cómo funciona un transpondedor [Online]. Available: <https://www.todocircuito.com/reportajes/45-como-functiona-un-transponder.html>
- [48] Sport Solution. (2016). Control de sistemas de cronometraje en ruta. Como funcionan [Online]. Available: <http://www.sportsolution.es/es/blog/40-control-de-sistemas-de-cronometraje-en-ruta-como-functionan>
- [49] Sport Solution. (2016). Control de sistemas de cronometraje en ruta. Como funcionan [Online]. Available: <http://www.sportsolution.es/es/blog/40-control-de-sistemas-de-cronometraje-en-ruta-como-functionan>
- [50] Sport Solution. (2016). Control de sistemas de cronometraje en ruta. Como funcionan [Online]. Available: <http://www.sportsolution.es/es/blog/40-control-de-sistemas-de-cronometraje-en-ruta-como-functionan>
- [51] Speed Hive Shop. (2019). MyLaps X2Transponder MX [Online]. Available: <https://speedhiveshop.mylaps.com/mx/x2-transponder-mx.html>
- [52] Wikipedia. (2018, December 18). Bluetooth [Online]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>
- [53] Wikipedia. (2018, December 24). Wifi [Online]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Wifi>

- [54] Medium. Sabas (2017, September 25). Haciendo IoT con LoRa: Capítulo 1. - ¿Qué es LoRa y LoRa WAN? [Online]. Available: <https://medium.com/beelan/haciendo-iot-con-lora-cap%C3%ADtulo-1-qu%C3%A9-es-lora-y-lorawan-8c08d44208e8>
- [55] Wikipedia. (2018, December 5). LoRa WAN [Online]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/LoRaWAN>
- [56] Medium. Sabas (2017, September 25). Haciendo IoT con LoRa: Capítulo 1. - ¿Qué es LoRa y LoRa WAN? [Online]. Available: <https://medium.com/beelan/haciendo-iot-con-lora-cap%C3%ADtulo-1-qu%C3%A9-es-lora-y-lorawan-8c08d44208e8>
- [57] Wikipedia. (2018, December 5). LoRa WAN [Online]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/LoRaWAN>
- [58] The Things Network. (2019,). LoRa WAN Overview [Online]. Available: <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/>
- [59] Wikipedia. (2019, January 7). GPS [Online]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/GPS>
- [60] Wikipedia. Rossi Braindrain. (2006, April 4). GPS [Online]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Trilateraci%C3%B3n>
- [61] India Mart. (2018). NEO 6M GPS Module [Online]. Available: <https://www.indiamart.com/proddetail/neo-6m-gps-module-19819679162.html>
- [62] GPS de montaña. (2014). ¿Que es GPS Glonass? [Online]. Available: <http://www.gpsdemontaña.es/datos-tecnicos/que-es-gps-glonass/>
- [63] Wikipedia. (2019, January 2). GLONASS [Online]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/GLONASS>
- [64] IE Geolocalización. (2019, January 2). Galileo [Online]. Available: <https://sites.google.com/a/student.ie.edu/sistgeolocalizacion/tipos-de-sistemas/galileo>
- [65] European Global Navigation Satellite Systems Agency. (2018, November 27). Galileo [Online]. Available: <https://www.gsa.europa.eu/european-gnss/galileo/galileo-european-global-satellite-based-navigation-system>
- [66] El Español. El androide libre. (2018, June 6). Beidou, así es la tecnología china que

sustituye al GPS en la otra punta del mundo [Online]. Available:

<https://elandroidelibre.lespanol.com/2016/08/beidou.html>

[67] BBC. (2018, October 1). Beidou vs GPS: cómo China quiere hacer global su alternativa al sistema de navegación de Estados Unidos [Online]. Available:

<https://www.bbc.com/mundo/noticias-45639488>

[68] Inside GNSS. (2016, July 5). The international GNSS monitoring and assessment service [Online]. Available: <https://insidegnss.com/the-international-gnss-monitoring-and-assessment-service/>

[69] Puertos del Estado. (2018). Sistema GPS/DGPS [Online]. Available:

<http://www.puertos.es/es-es/conceptosgenerales/Paginas/Sistema-GPSDGPS.aspx>

[70] NPS. James R. Clynn. (2010, December). A short overview of Differential GPS [Online]. Available: <http://www.oc.nps.edu/oc2902w/gps/dgpsnote.html>

[71] Wikipedia. (2019, January 7). GPS [Online]. Available:

<https://es.wikipedia.org/wiki/GPS>

[72] Hispaviación. (2012). Sistema global de navegación por satélite [Online]. Available:

<http://www.hispaviacion.es/sistema-global-de-navegacion-por-satelite/>

[73] Wikipedia. (2017, December 4). SBAS [Online]. Available:

<https://es.wikipedia.org/wiki/SBAS>

[74] J. C. Olmedillas. *Introducción a los sistemas de navegación por satélite*. Editorial UOC. 2012. Available: [https://books.google.es/books?id=-9BSVHI0e3EC&pg=PA107&lpg=PA107&dq=SDCM+SATELITE&source=bl&ots=2Xmd-](https://books.google.es/books?id=-9BSVHI0e3EC&pg=PA107&lpg=PA107&dq=SDCM+SATELITE&source=bl&ots=2Xmd-3fpG8&sig=CCNuJloseQBA97ubWa19C9C33Ec&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjvypXy8creAhWQyYUKHWkXDjIQ6AEwAnoECACQAQ#v=onepage&q=SDCM%20SATELITE&f=false)

[3fpG8&sig=CCNuJloseQBA97ubWa19C9C33Ec&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjvypXy8creAhWQyYUKHWkXDjIQ6AEwAnoECACQAQ#v=onepage&q=SDCM%20SATELITE&f=false](https://books.google.es/books?id=-9BSVHI0e3EC&pg=PA107&lpg=PA107&dq=SDCM+SATELITE&source=bl&ots=2Xmd-3fpG8&sig=CCNuJloseQBA97ubWa19C9C33Ec&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjvypXy8creAhWQyYUKHWkXDjIQ6AEwAnoECACQAQ#v=onepage&q=SDCM%20SATELITE&f=false)

[75] Solo Stocks. (2018). Geolocalización de vehículos: ¿Qué tipo de sistema? [Online]. Available: <https://www.solostocks.com/guias/geolocalizadores-vehiculos/sistemas-gps>

[76] Digital Trends. Daniel Matus (2018, October 31). ¿Qué son CDMA y GSM? Te explicamos las principales diferencias [Online]. Available:

<https://es.digitaltrends.com/celular/redes-cdma-y-gsm/>

- [77] Euskadi. Kzblog. Kzgunea. (2017, March 31). Geolocalización, qué es y cómo funciona [Online]. Available: <http://kzgunea.blog.euskadi.eus/blog/2017/03/31/geolocalizacion-que-es/>
- [78] Compra GSM. (2013, April 12). CDMA y GSM ¿En qué se diferencian? [Online]. Available: <https://www.compragsm.com/blog/cdma-y-gsm-en-que-se-diferencian/>
- [79] Race Result. (2018). Tienda [Online]. Available: <https://www.raceresult.com/es-se/shop/RaceResultSystem.php>
- [80] Taringa. Cocho57. (2011, September 27). Fórmula 1: La Telemetría y sensores [Online]. Available: <https://www.taringa.net/posts/autos-motos/12633458/Formula-1-La-Telemetria-y-Sensores.html>
- [81] Autonocion. (2015, March 23). La Fórmula 1 es muy cara pero, ¿Cuánto cuesta cada parte del circo? [Online]. Available: <https://www.autonocion.com/la-formula-1-es-muy-cara-pero-cuanto-cuesta-cada-parte-del-circo/>
- [82] MyLaps. (2018). [Online]. Available: <https://www.mylaps.com/>
- [83] Motor Lap (2019). Motorlap, Cronómetro GPS a prueba de “poles” para todas las situaciones [Online]. Available: https://www.motorlap.com/?language=spanish_es-utf8
- [84] Racelogic. (2018). Telemetry Systems [Online]. Available: https://racelogic.support/01VBOX_Automotive/05Telemetry_Systems
- [85] Advanced Autosports. (2019). Transponders and Laptimers [Online]. Available: <https://www.advanced-autosports.com/collections/transponders-and-laptimers>
- [86] Autosport Labs. (2019). Powerful Real-Time Telemetry for Motorsports [Online]. Available: <https://www.theglobeandmail.com/globe-drive/culture/commuting/whats-more-accurate-the-cars-speedo-or-the-gps/article4348596/>
- [87] The Globe and Mail. Joanne Hill (2010, November 17). What’s more accurate: the car’s speedo or the GPS? [Online]. Available: https://www.autosportlabs.com/racecapture_mk3_apex/
- [88] Mikro Elektronika. (2019). GNSS 5 click [Online]. Available: <https://www.mikroe.com/gnss-5-click>

- [88] India Mart (2019). Arduino DUE R3 [Online]. Available:
<https://www.indiamart.com/proddetail/arduino-due-r3-19489840373.html>
- [90] Wikipedia. (2018, August 27). Comunicación serie [Online]. Available:
https://es.wikipedia.org/wiki/Comunicaci%C3%B3n_serie
- [91] Luís Llamas. (2014, April 16). Comunicación de Arduino con puerto serie [Online]. Available: <https://www.luisllamas.es/arduino-puerto-serie/>
- [92] Wikipedia. (2018, August 27). Comunicación serie [Online]. Available:
https://es.wikipedia.org/wiki/Comunicaci%C3%B3n_serie
- [93] Luís Llamas. (2014, April 16). Comunicación de Arduino con puerto serie [Online]. Available: <https://www.luisllamas.es/arduino-puerto-serie/>
- [94] National Instruments. (2014). Comunicación serial: conceptos generales [Online]. Available:
<http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/039001258CEF8FB686256E0F005888D1>
- [95] Mikro Elektronika. (2019). GNSS 5 click [Online]. Available: <https://www.mikroe.com/gnss-5-click>
- [96] Git Hub. Andrea Toscano (2015, May 14). Arduino_Parser_Ublox_Neo_M8N [Online]. Available: https://github.com/toskyRocker/Arduino_Parser_Ublox_Neo_M8N
- [97] Ublox. (2018, November 30). U-center [Online]. Available: <https://www.u-blox.com/en/product/u-center>
- [98] Ublox. (2018 November 30). U-center [Online]. Available: <https://www.u-blox.com/en/product/u-center>